



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Utvinning av värme ur bergborrade brunnar

Förstudie

Sören Andersson
Anders Eriksson
Tomas Åbyhammar

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-2173
Plac	Ser

K
PWA

Byggforskningsrådet

Ser

R142:1980

UTVINNING AV VÄRME UR BERGBORRADE BRUNNAR
Förstudie

Sören Andersson
Anders Eriksson
Tomas Åbyhammar

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791526-3 från Statens råd för byggnadsforskning
till Allmänna Ingenjörbyrå AB och AB Avanti-
Maskiner, Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R142:1980

ISBN 91-540-3378-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 057323

INNEHÅLL

FÖRORD	5
1 INLEDNING	7
1.1 Orientering	7
1.2 Värmeutvinning vid vattenuttag utan återföring	9
1.3 Värmeutvinning vid recirkulation	9
1.4 Laddning	10
1.5 Ekonomi	10
1.6 Slutsatser	10
2 GEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	11
2.1 Grundvattenuttag utan återföring	11
2.2 Recirkulation av nedkylt vatten	19
2.3 Recirkulation kombinerat med uppvärmning av brunnen (bergmassan) sommartid	28
2.4 Grundvattenkvalitet	31
3 ENERGI- OCH EFFEKTUTTAG	37
3.1 Energi- och effektuttag då vatten ej återföres till brunnen	37
3.1.1 Allmänna förutsättningar	37
3.1.2 Erforderlig vattenmängd för givet energi- och effektuttag	37
3.2 Energi- och effektuttag vid recirkulation	37
3.2.1 Allmänna förutsättningar	37
3.2.2 Konstant effektuttag vid fortvarighets-tillstånd	39
3.2.3 Varierande effektuttag. Fortvarighets-tillstånd	41
3.2.4 Konstant effektuttag i initialskedet	46
3.2.5 Varierande effektuttag i initialskedet	47
3.2.6 Inverkan av strömmande grundvatten	50
4 VÄRMEPUMP	51
4.1 Vattenuttag från bergborrad brunn	51
4.1.1 Inledning	51
4.1.2 Ingen återföring av avkylt grundvatten till brunnen	52
4.1.3 Total återföring av avkylt grundvatten till brunnen	52
4.1.4 Återföring till brunnen kombinerat med nettouttag av avkylt grundvatten	54
4.1.5 Värmeladdning av brunnen under sommarhalvåret	55

4.2	Överföring av energi från grund-	
	vatten till värmepumpens förångare	55
4.2.1	Vattentemperaturer	55
4.2.2	Värmeväxlarkonstruktioner	56
4.2.3	Frysvalter	57
4.2.4	Vattenkvaliteter och materialval	57
4.3	Värmepumpen	58
4.3.1	Kort beskrivning av värmepumpens	
	princip	58
4.3.2	Värmefaktor	59
4.3.3	Värmning av tappvarmvatten	60
4.3.4	Effekt och energibehov i småhus	61
4.3.5	Styrning av värmepumpenläggningen . . .	61
4.3.6	Installation och service	62
5	PRAKTISKA ERFARENHETER AV BRUNNAR I DRIFT	63
5.1	Allmänt	63
5.2	Recirkulationsbrunnar	63
5.3	Jämförelse mellan uttagna och teoretiskt	
	beräknade, maximala effekter	65
6	EKONOMI	69
6.1	Energiförbrukning	69
6.2	Investeringsbehov och årliga kostnader . .	70
LITTERATUR		79
BILAGA 1- 3		81

FÖRORD

Allmänna Ingenjörskyrån AB, AIB, har i föreliggande, av BFR finansierade, förstudie utrett tekniska och ekonomiska förutsättningar för en allmänt tillämpbar, småskalig värmeutvinning ur bergbörade brunnar med hjälp av värmepump.

Förstudien har genomförts under januari-april 1980 i samarbete med AB Avanti-Maskiner och institutionen för matematisk fysik vid Lunds Tekniska Högskola.

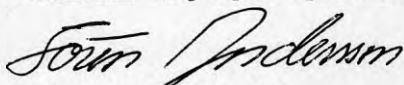
I projektet har medverkat

- tekn lic	Sören Andersson	AIB (proj ledare)
- tekn dr	Johan Claesson	LTH
- civ ing	Bengt Eftring	LTH
- geolog	Anders Eriksson	AIB
- ing	Peter Ragnhammar	AB Avanti-Maskiner
- civ ing	Tomas Åbyhammar	AIB

Mätdata har välvilligt ställts till förfogande av SGU, fil dr David Malmqvist, fastighetsmäklaren Evert Johansson och brunnsbörare Ove Rubensson.

Stockholm april 1980

Allmänna Ingenjörskyrån AB


Sören Andersson

1. INLEDNING

1.1 Orientering

Värme kan utvinnas ur en bergborrad brunn genom att vatten tas ut och efter nedkylning i en värmepump antingen avleds eller återföres till brunnen.

Vid återföring, då inget egentligt vattenuttag sker, fungerar brunnen som en värmeväxlare, varvid värmen huvudsakligen erhålles genom ledning via berget.

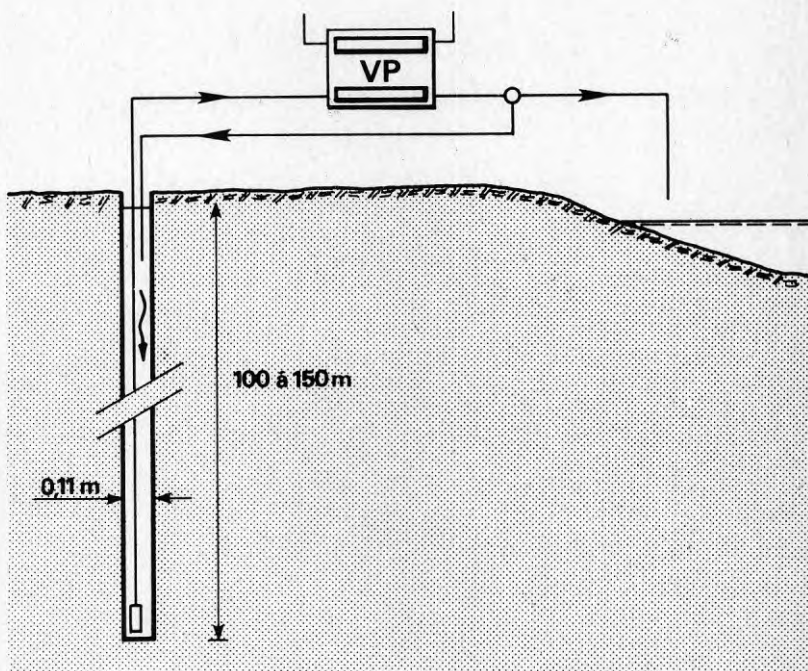


Fig 1.1 Värmeutvinning ur bergborrad brunn. Grundvattenuttag med avledning till recipient alt recirkulation

Den bergborrade brunnens värmeavgivande förmåga är ofta av den storleksordning som erfordras för uppvärmning av ett småhus med hjälp av värmepump.

Ett normalt småhus kan antagas ha ett maximalt effektbehov för uppvärmning på ca 12 kW. Om värmepumpens värmefaktor antages vara ca 3 innebär detta att en effekt på 8 kW skall utvinnas ur grundvattnet, dvs tas upp i värmepumpens förångare. Av fig 1.2 framgår att om vattnet nedkyls till +2°C erfordras t ex ett uttag på 1,8 m³/h vid en grundvattentemperatur på +6°C. En lägre grundvattentemperatur kräver ett motsvarande större vattenuttag.

Frysning av uttaget vatten eller frysning av berget vid recirkulation medger ökade effekt- och energiuttag men har ej omfattats av förstudien.

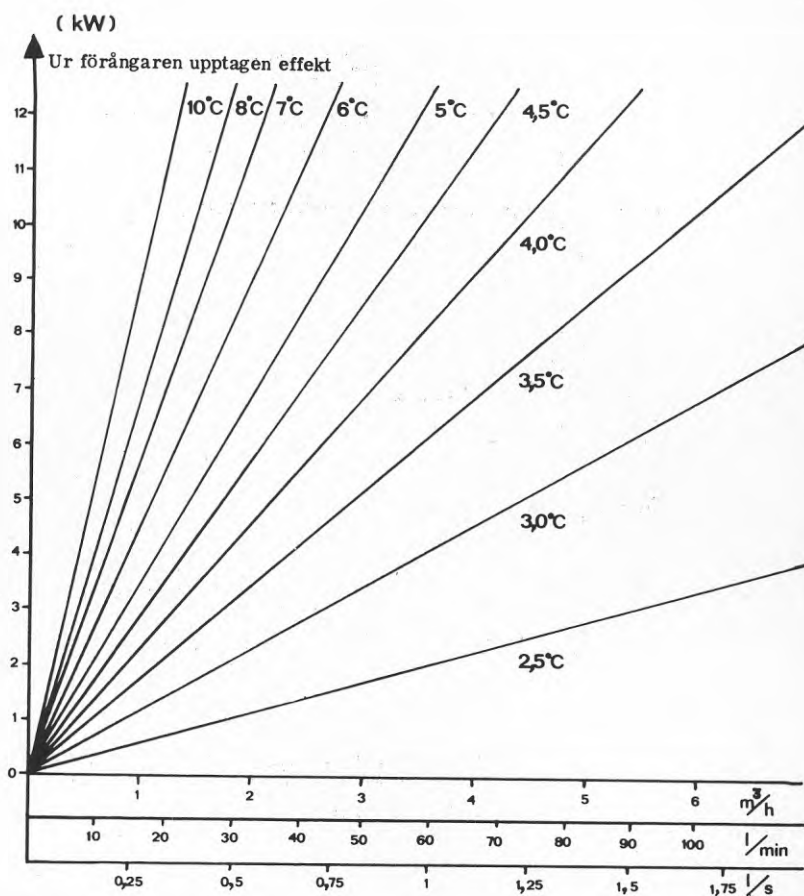


Fig 1.2. Av värmepump upptagen effekt som funktion av flöde och grundvattentemperatur. Diagrammet förutsätter avkylning till +2°C. Vid värmefaktorn 3 avger värmepumpen 50% större effekt än vad förångaren tar upp.

1.2 Värmeutvinning vid vattenuttag utan återföring

Möjligheterna att utvinna värme ur uttaget grundvatten bestäms av vattentemperatur och vattentillgång.

Som grova riktvärden för bergborrade brunnar kan anges att grundvattentemperaturen uppgår till 8 à 9°C i Skåne, 6 à 7°C i mellansverige och ca 4°C i större delen av Norrland.

Brunnens kapacitet är starkt beroende av lokala förhållanden men varierar normalt mellan 0,4 till 3,6 m³/h. Det är således uppenbart att den ovan angivna, för maximal värmeeffekt erforderliga, kapaciteten 1,8 m³/h ofta ej kan påräknas.

1.3 Värmeutvinning vid recirkulation

Vid recirkulation tillföres brunnen avkyllt vatten, ca +2°C, som under passagen genom borrhålet uppvärms till ca +4°C, varefter det åter kyles i värmepumpen.

Möjligheterna att utvinna värme vid recirkulation bestäms huvudsakligen av borrhålets längd, bergets värmeledningsförmåga samt temperaturdifferensen mellan borrhålet och omgivande, opåverkat berg.

Från t ex ett 150 m djupt borrhål i granit kan vid en temperaturdifferens på 7,0-3,0 = 4,0°C kontinuerligt uttas en effekt på 2,2 kW, motsvarande 19.000 kWh/år. Med en värmepump med värmefaktorn 3 motsvarar detta ca 28.000 kWh/år, dvs värmebehovet för ett normalt småhus.

Den kontinuerligt uttagbara energin kan under året tas ut med varierande effekt. Ett högt effektuttag kräver emellertid en hög temperaturdifferens, dvs låg borrhålstemperatur. De praktiska möjligheterna till stora effektuttag är härigenom starkt begränsade eftersom borrhålets medeltemperatur ej bör understiga ca +3°C med vatten som värmebärare.

Bestämningen av de effekt- och energimängder som kan utvinas vid recirkulation bör bli föremål för fortsatta undersökningar.

En jämförelse med data från ett par av de cirkulationsbrunnar som varit i drift sedan hösten 1979 indikerar att större effekter kunnat tas ut än vad som motsvaras av den teoretiska behandlingen.

Data från dessa brunnar har dock icke registrerats i utredningssyfte och är därför ej av den noggrannhet och omfattning som erfordras för en närmare jämförelse.

1.4 Laddning

För att möjliggöra större energi- och effektuttag än de som motsvaras av olika fortvarighetstillstånd kan laddning tillgripas med t ex solvärt vatten.

Den omgivande bergvolymen ges härvid en temperaturhöjning som medger en ökad temperaturdifferens.

Beräkningar visar dock att en laddning över naturlig omgivningstemperatur endast medger en obetydlig ökning i möjligt effekt- och energiuttag. Laddning till naturlig omgivningstemperatur kan dock visa sig nödvändigt för att ej få en nedgång i från början möjliga effekt- och energiuttag och för att möjliggöra att den bergborrade brunnen utnyttjas som värmekälla i villaområden där brunnarna kan komma att ligga nära varandra.

1.5 Ekonomi

Jämförande beräkningar visar att den bergborrade brunnen är en ekonomiskt intressant värmekälla. Speciellt gäller detta för småhus med värmebehov överstigande 30.000 kWh/år.

Med stigande energipriser blir den bergborrade brunnen ekonomiskt intressant även för hus med mindre energiförbrukning.

1.6 Slutsatser

Förstudien, liksom några i praktisk drift varande brunnar, har indikerat goda tekniska och ekonomiska möjligheter att utnyttja den bergborrade brunnen som värmekälla för värmepump.

Antalet bergborrade brunnar i Sverige är av storleksordningen 250.000 och ca 10.000 nya tillkommer varje år. Bergborrade brunnar för energiutvinning enligt recirkulationsprincipen kan utföras för villabebyggelse och lantbruksbebyggelse i större delen av södra och mellersta Sverige. Den bergborrade brunnen synes därför motsvara en avsevärd och allmänt utnyttjningsbar värmetillgång.

Det är därför angeläget att genom främst fortsatta fältmätningar erhålla en ökad kännedom om den bergborrade brunnens energi- och effektkapacitet vid olika driftförutsättningar.

2. GEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Med hjälp av värmepump och vatten som värmebärare kan värmeuttag ur en bergborrad brunn ske. En "energibrunn" kan drivas på principiellt tre olika sätt.

1. genom värmeuttag från grundvatten utan att återföra vattnet till brunnen (fig 2.1)
2. genom recirkulation av nedkylt vatten i brunnen, varvid ett permanent värmeuttag från bergmassan sker (fig 2.2)
3. genom recirkulation av nedkylt vatten i brunnen kombinerat med en uppvärmning av brunnen (bergmassan) genom att solvärt vatten cirkuleras i brunnen under sommarperioden (fig 2.3)

Olika kombinationer av ovanstående driftsätt liksom olika sätt att kyla och uppvärma bergmassan finns. Nedan lämnas geologiska aspekter på de tre driftsätten.

2.1 Grundvattenuttag utan återföring

Möjligt värmeuttag är beroende av grundvattentillgång och grundvattentemperatur.

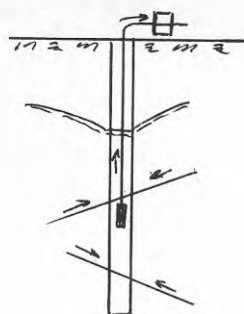
Grundvattentillgång

Sannolikheten att erhålla tillräcklig grundvattenmängd kan bedömas med hjälp av Sveriges Geologiska Undersökning, SGU:s, statistiska bearbetning av inkomna brunndata. Uppgifterna grundar sig huvudsakligen på korttidspumpningar, vilka som regel ger högre kapacitetsvärden än långtidsprovpumpningar.

De regionala variationerna i det svenska urbergets vattenföring har av olika författare utvärderats med hjälp av tillgänglig brunnborrningsstatistik. C-G Wenner 1951, Mejer O och Sund B 1952, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) 1977.

I enlighet med en särskild lag, SFS 1975:424, sänder landets brunnborrare fortlöpande in brunnborrningsresultat till SGU. Bearbetningen av detta material presenteras i form av regionala översikter, fig 2.4, och som specialkartor vid den hydrogeologiska karteringen.

De hydrogeologiska berggrundskartorna visar schematiserade områden som anger den statistiska möjligheten att vid en brunnborrning erhålla en viss mängd vatten. Kartorna kan därför även sägas utgöra en form av energigeologiska kartor eftersom visade brunnkapaciteter även representerar en viss värmemängd (dock något olika beroende på den grundvattentemperatur som råder).



Radie kring borrhålet där grundvattenytan kan påverkas

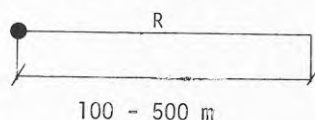
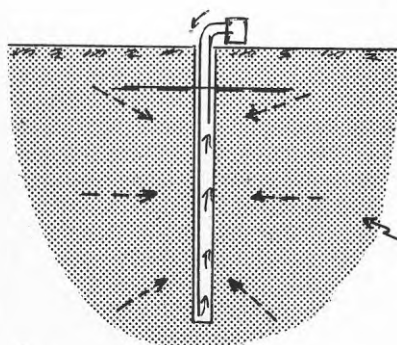


Fig 2.1 Värmeuttag genom vattenuttag (ca 0,5 l/s)

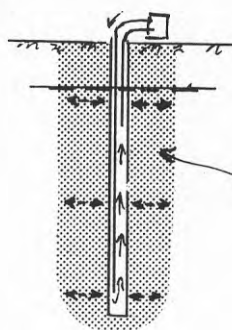


Radie kring borrhålet där bergmassans temperatur efter många års drift påverkas (enligt teoretiska beräkningar) (se 2.2)

R R = borrhålets längd

Temperaturpåverkad zon

Fig 2.2 Värmeuttag genom recirkulation av nedkyllt vatten



Radie kring borrhålet där bergmassans temperatur påverkas (enligt teoretiska beräkningar)

R R = 10-15 m

Temperaturpåverkad zon

ANM \longrightarrow vattenflöde

\dashrightarrow värmeflöde

Fig 2.3 Värmeuttag genom recirkulation av nedkyllt vatten (vinter) och återladdning genom recirkulation av solvärm t vatten (sommartid)

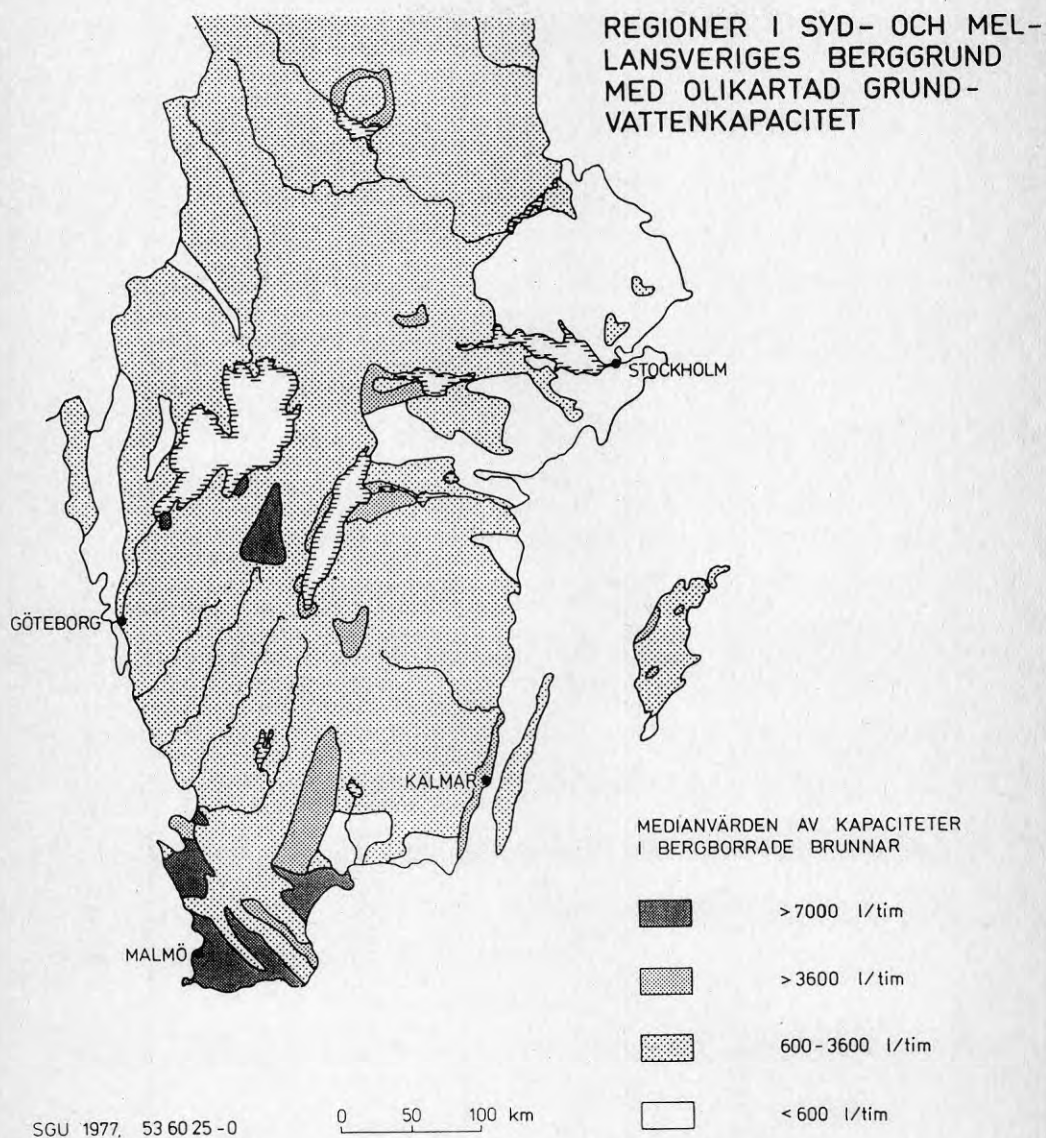


Fig 2.4 Medianvärden av kapaciteter i bergborrade brunnar

Den statistiska sannolikheten att erhålla en viss vattenmängd vid utförande av en ordinär bergborrad brunn har även åskådliggjorts av SGU i diagrammet på fig 2.5. I detta diagram finns möjlighet att se t ex hur stor procent brunnar i sedimentär gnejs i östra Sverige som ger över t ex 1500 l/h. Av diagrammet framgår att ca 80% av brunnarna har lägre kapacitet än 1500 l/h i den sedimentära gnejsen.

Grundvattentemperatur

I en bergborrad brunn erhålles vatten från sprickor på olika djup. Temperaturen på vattnet i bergets sprickor stiger i allmänhet långsamt med djupet. Vattnets strömning i bergmassan medför i vissa fall att temperaturökningen ej är helt rätlinjig utan vissa temperaturstörningar uppträder. Vid uttag erhålles ett blandvatten från de olika sprickorna. De mest vattenförande sprickorna ger därvid det största temperaturinflytandet. Fördelaktigt är att påträffa vattnet på stort djup i brunnen.

Då vattentillrinningen även till brunnens djupare belägna sprickor i de flesta fall sker från ytligare berg- och jordlager är en viss sänkning av temperaturen att räkna med vid stora och långvariga uttag. Närmare utredningar saknas dock. Erfarenheter från åtminstone ett fall visar att en temperatursänkning uppstått.

Vid SGU:s grundvattennät utförs temperaturmätningar på grundvattnet var 14:e dag vid 44 stationer inom 39 olika områden vilket representerar en datamängd av ca 1100 observationer per år. Mätningarna startades vid de flesta stationerna kring 1969-1970 och är huvudsakligen utförda i jordakviferer, fig 2.6. På fig 2.7 visas grundvattentemperaturens årsmedelvärden 1968-1975 enligt ovanstående mätningar.

Grundvattentemperaturen ligger under ca 7 månader högre än luftmedeltemperaturen inom i stort sett hela Sverige. (Framgår av J Johnsson 1980). Lufttemperaturen varierar dock starkt och under enskilda timmar ligger den högre än grundvattentemperaturen även dagar då luftmedeltemperaturen ligger lägre. De ytliga jordlagrens och det ytliga grundvattnets temperatur varierar enligt ett bestämt mönster under året.

Värmemaximum nås senare i grundvattenmagasinen än i luften och denna fasförskjutning ökar med ökat djup under markytan samtidigt som variationerna minskar.

De "vågor" som genereras vid markytan är ej helt avklingade förrän vid 40-50 m djup i urbergsterräng, fig 2.8. Under detta djup är temperaturen konstant på ett visst djup (med undantag av vissa sekulära förändringar beroende på långtidsförändringar i klimatet). Temperaturen stiger dock långsamt med ökat djup beroende på de faktorer som ger upphov till den geotermiska gradienten.

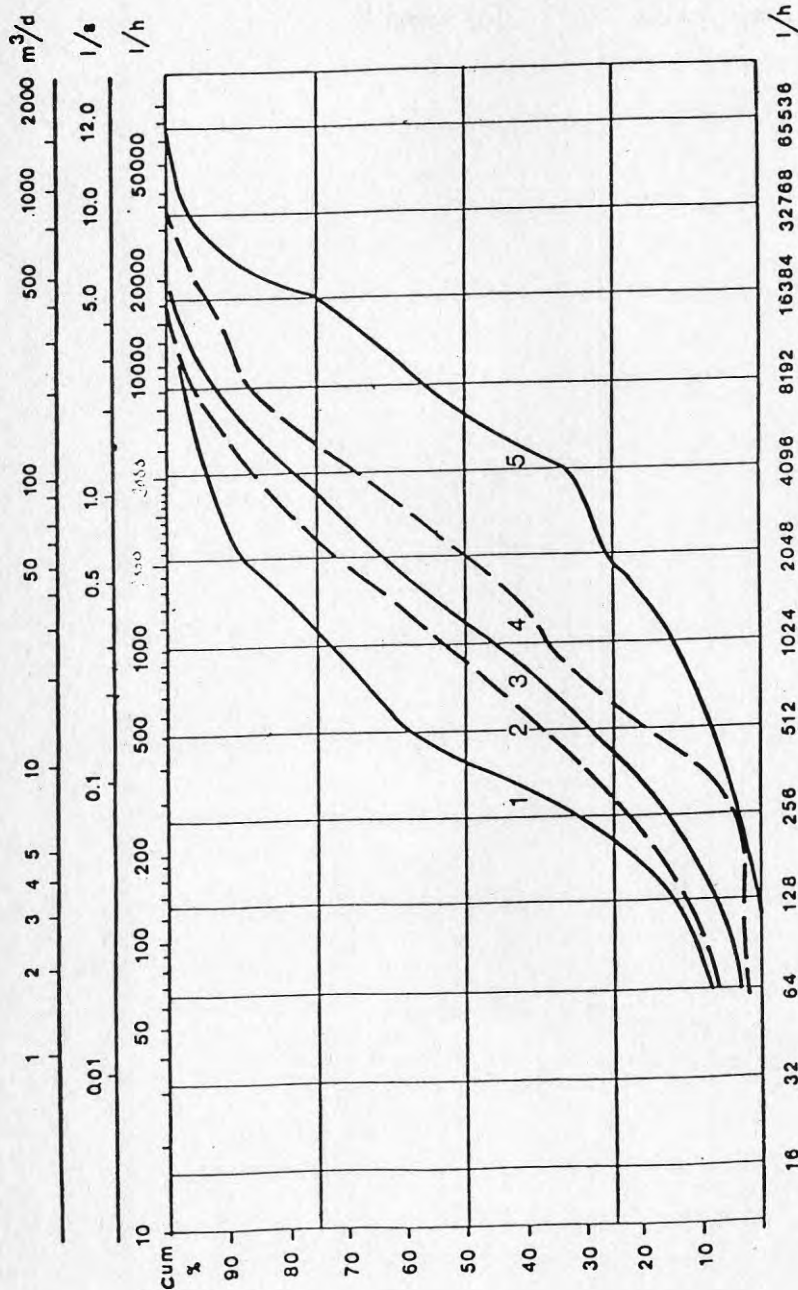


Fig. 2.5 Distribution of well capacities in some Swedish rock types.

1. Gneisses of sedimentary origin in eastern Sweden; the median yield (Q_M) of 331 (n) wells is 320 l/h.
2. Acid to intermediate intrusive rocks (granites), partly gneisses, in eastern Sweden; $Q_M = 800$ l/h, n = 363.
3. Acid to intermediate intrusive rocks (granites) in southern Sweden; $Q_M = 1200$ l/h, n = 489.
4. Acid to intermediate volcanic rocks (porphyries) in southern Sweden; $Q_M = 2100$ l/h, n = 68.
5. Cambrian sandstones. $Q_M = 7200$ l/h, n = 83.

Ann. Från SGU-koncept till beskrivning av internationella hydrogeologiska europakartan

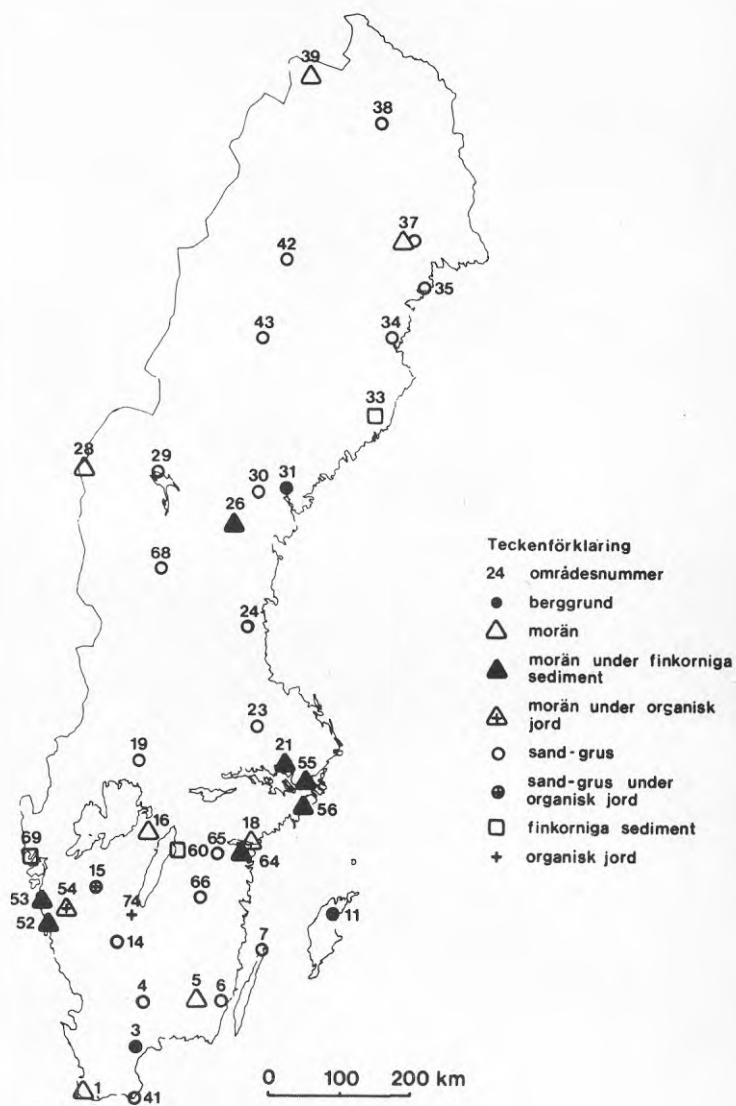
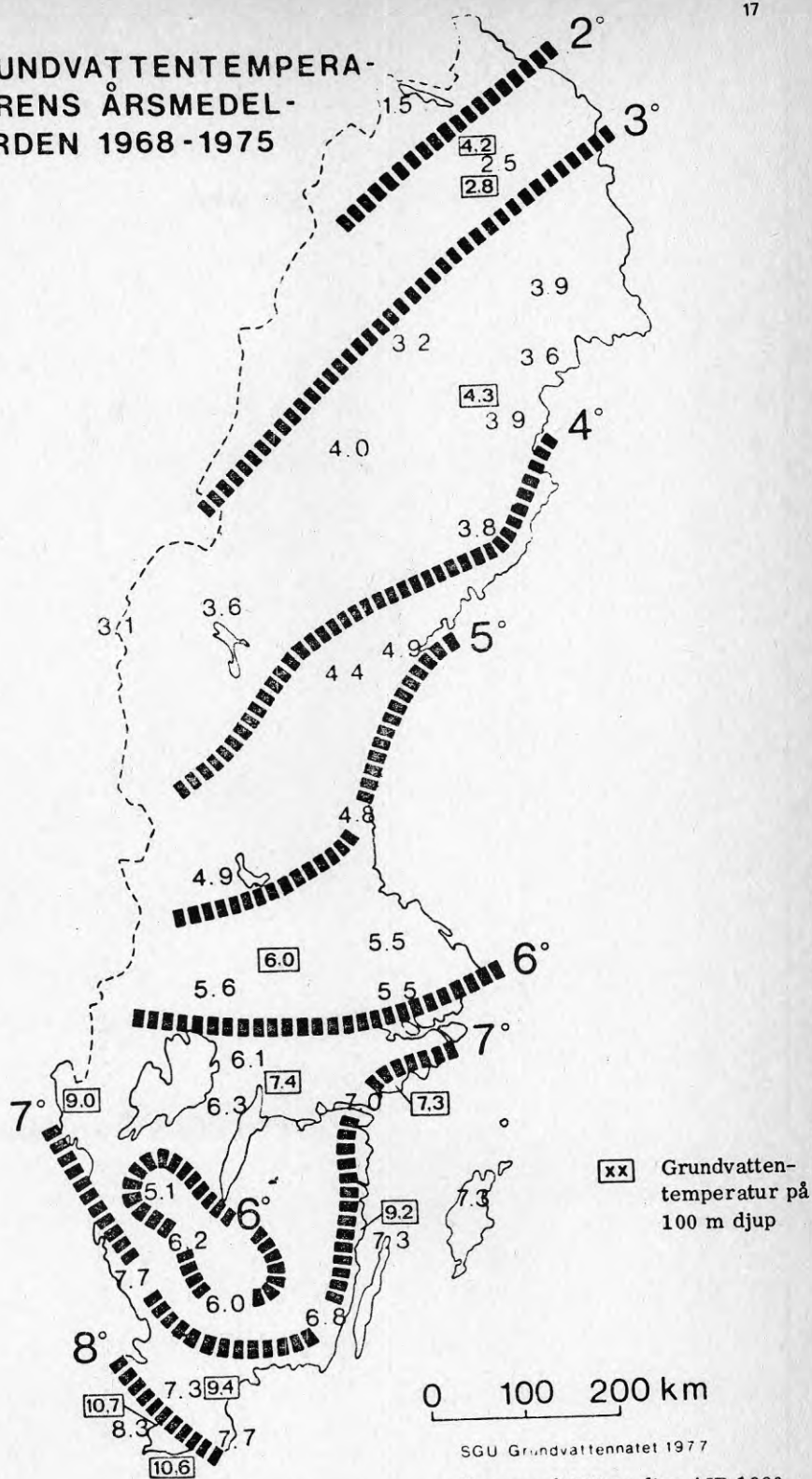


Fig 2.6 Grundvattennätets stationer för temperaturmätningar 1980-01-01 (från J. Johnson 1980)

GRUNDVATTENTEMPERA- TURENS ÅRMEDEL- VÄRDEN 1968-1975



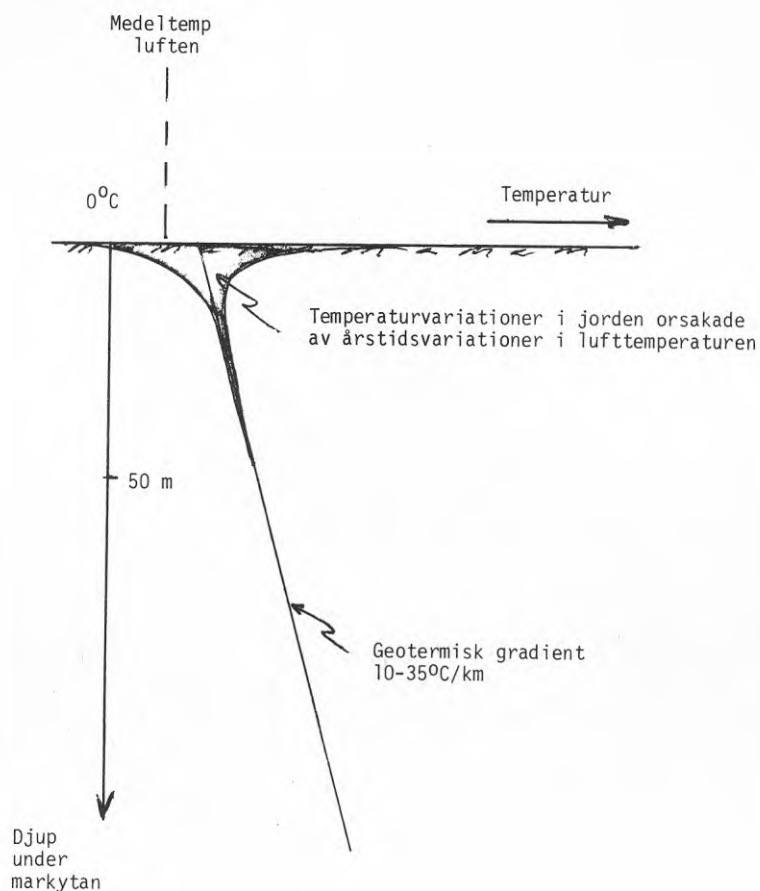


Fig 2.8

Schematiserad bild av temperaturvariationerna under mark.
(Gradientens lutning överdriven i förhållande till
temperaturvariationerna i markytan.)

Möjligheter och tillåtlighet av värmeuttag ur en uttagsbrunn

Vattenlagen (2:47) kräver vattendom om man tillgodogör sig mer än $300 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Prövning måste ske även vid uttag av mindre än $300 \text{ m}^3/\text{dygn}$ om annan fastighet lider men. Sådan prövning (vattendom) behövs dock inte om anordnandet eller nyttjandet av grundvattentäkten endast är avsett för att förse en viss fastighet med vatten för husbehovsförbrukning (VL 2:14).

$300 \text{ m}^3/\text{dygn}$ motsvarar $3,47 \text{ l/s}$ vilket vid en temperatursänkning av grundvattnet på t ex 2°C motsvarar ett effektuttag på 28 kW . En halvering av vattenuttaget medför vid oförändrad temperatursänkning en halvering av den uttagbara effekten.

Värmeuttag genom grundvattenuttag är möjligt i så gott som hela Sverige. Med hänsyn till frysrisker bör vattentemperaturen efter passage genom värmepumpen ej understiga $+2^\circ\text{C}$. En önskvärd temperaturdifferens på 2°C ger då en lägsta grundvattentemperatur på ca 4°C . De nordligaste delarna av Sverige blir härigenom knappast aktuella för denna form av värmeutvinning. Se fig 2.7.

2.2 Recirkulation av nedkylt vatten

Allmänna förutsättningar för recirkulationsbrunnar

Bergborrade brunnar har som regel för låg kapacitet för att tillräcklig värmemängd för en villa skall kunna uttagas genom vattenuttag. Genom återföring av vatten till brunnen (recirkulation) kan tillräcklig vattenmängd (värmemängd) erhållas. (Erfarenheter från södra Sveriges urberg med grundvattentemperaturer kring $+7,5^\circ\text{C}$ och brunnsdjup på 150 m under en uppvärmningssäsong).

Ovan nämndes att vattendom krävs vid större uttag än $300 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Tillgodogörande av värme ur grundvatten torde dock icke vara att likställa med tillgodogörande av vatten. Recirkulation synes därför ej kräva vattendom även om den cirkulerade vattenvolymen överstiger $300 \text{ m}^3/\text{dygn}$ så länge man inte avleder - "förbrukar" - mer än $300 \text{ m}^3/\text{dygn}$ från vattentäkten. Som ovan nämnts motsvarar $300 \text{ m}^3/\text{dygn} \approx 3,47 \text{ l/s}$, vilket ligger högt över den vattenmängd som behövs cirkuleras genom värmepumpen för en enskild villa.

Vid recirkulation kan antagas att avkylt vatten från värmepumpen har en temperatur på ca $+2^\circ\text{C}$. Vattnet återföres till brunnen där det under passagen längs borrhålet uppvärms till minst ca $+4^\circ\text{C}$. För att möjliggöra detta krävs en ursprunglig berg- och grundvattentemperatur som ligger en eller ett par grader högre, dvs på 5 ä 6°C .

Vid en temperatur på uttaget grundvatten av 4°C behöver maximalt ca $60 \text{ m}^3/\text{dygn}$ cirkuleras för uppvärmning av en villafastighet.

Den värmelevererande förmågan (värmekapaciteten) hos en bergborrad brunn som skall drivas som cirkulationsbrunn beror bl a på brunnens djup, diameter och sprickytor, bergmassans temperatur och värmeledningstal samt grundvattenomsättningen i och kring brunnen.

Beroende på dessa variabler och värmebehovets storlek krävs ett visst djup på brunnen för att temperaturen vid recirkulation ej skall gå ned under ca 4°C under den kallaste delen av uppvärmningsperioden.

Eftersom bergmassans och grundvattnets temperatur sjunker mot norr ställs ökade krav på borrhålslängd för att täcka ett och samma värmebehov på olika breddgrader.

Vid normala brunnsdjup torde dock recirkulationsbrunnar bli praktiskt svårutnyttjade när grundvattentemperaturen ligger under $5-6^{\circ}\text{C}$, vilket den gör i hela Norrland.

Undantagsfall kommer säkert att finnas där grundvattenomsättningen i brunnen genom kommuniserande sprickor på olika nivåer är så stor att brunnar med så låg temperatur som $5-6^{\circ}\text{C}$ kan drivas som recirkulationsbrunnar.

Bergmassans sprickighet har i detta fall betydelse, eftersom den leder till ökad grundvattenströmning i och kring brunnen och ökad värmeavgivande yta i brunnen. Eftersom vattennivån i brunnen bibehålles oförändrad vid cirkulationspumpning bedöms grundvattenströmningen kring brunnen ej bli särskilt starkt påverkad av cirkulationspumpningen.

Teoretisk beräkningsmodell för recirkulationsbrunn i torrt berg

Bergmassans temperatur och värmeledningsförmåga är de faktorer som bestämmer vilken effekt man kan ta ut från ett visst borrhål. (I detta fall bortses från grundvattenströmning i berget kring brunnen). Om man vill beräkna hur mycket värme en bergborrad brunn fortvarigt lämnar kan man antaga att bergmassan och markytan har en och samma temperatur. Man kan då visa att på sikt värme kommer att tas från markytan och att möjligt effektuttag bestämmes av temperaturskillnaden mellan markyta och borrhål. Markytans temperatur är i stort lika med lufttemperaturen men med en något högre marktemperatur än lufttemperatur mot norra Sverige beroende på snötäckets isolerande inverkan. På karta i bilaga 1 visas luftens årsmedeltemperatur för perioden 1931-1960 samt beräknade årsmedeltemperaturer för SMHI:s marktemperaturnät för perioden 1961-1970.

Till det effektuttag som är möjligt att beräkna med hjälp av differensen mellan marktemperatur och brunnsvattentemperatur kan superponeras ett geotermiskt bidrag, vilket dock är betydligt mindre än det bidrag som kan erhållas från markytan.

Nedan beskrivs det utredningsmaterial som idag föreligger för att uppskatta det geotermiska bidraget.

Bergmassans temperatur

Markytans temperatur är avgörande för bergmassans temperatur eftersom den utgör "utgångstemperatur" för den geotermiska temperaturökningen. Förskjuts markytans temperatur genom klimatförändringar ändrar sig även bergmassans temperatur men med stor tröghet. Markytans temperatur är därför av stor betydelse för bergmassans temperatur.

De första systematiska temperaturmätningarna i Sveriges berggrund utfördes av Nordenström 1877. De följdes av mätningar redovisade av Dahlbom 1938, Hasselström 1972, Parasnis 1973, Lindblom 1975, Bjelm et al 1979, Landström et al 1979 och 1980. Även värmeledningstal, värmegenerering, temperaturgradienter finns bestämda i flera av utredningarna. En sammanfattande översikt finns publicerad av K-G Eriksson och D Malmqvist 1979.

När det gäller bergmassans temperaturförhållanden så antages anormala värmeflöden och temperaturgradienter bero på radioaktivt sönderfall i den övre delen av berggrunden. Av intresse är därför att studera var graniter utgör berggrund och framförallt yngre graniter. (Se fig 2.9). Graniter har högre värmeledningsförmåga än bergarter av sedimentärt ursprung, t ex sedimentgnejser varför kartan även ger en bild av områden med höga värmeledningstal. Undantag utgör dock kvartsiter som har högre värmeledningstal än granit. Djupliggande värmegenererade sura bergarter anses också kunna ge upphov till varma regioner.

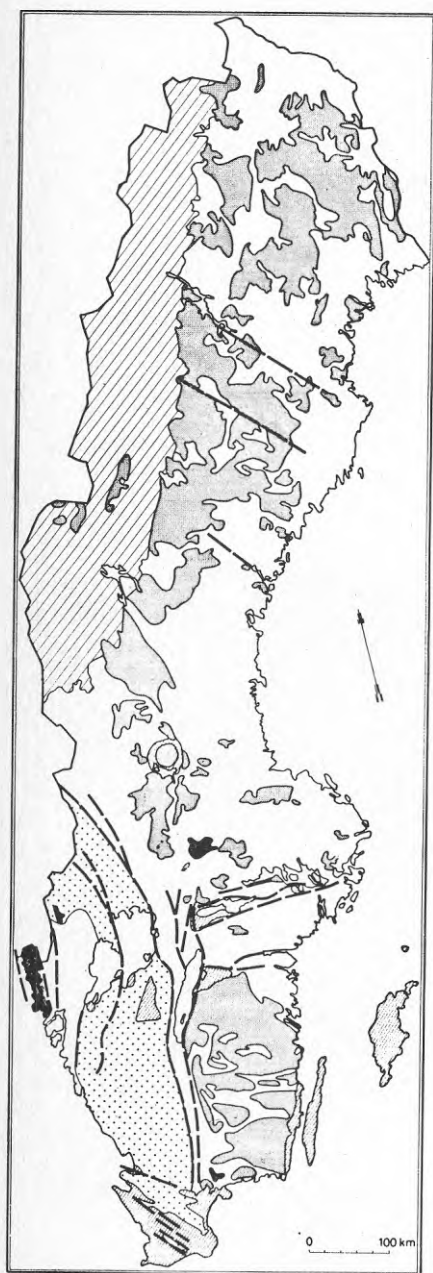
Den geotermiska gradienten varierar således inom urberget och höga temperaturgradienter kan förväntas i yngre graniter med höga koncentrationer av radioaktiva element. Med hjälp av temperaturloggningar av borrhål som sker genom att en termometer, t ex i form av en termistor på en kabel, sänks ned i borrhålet kan temperaturprofiler erhållas.

Temperaturloggningar finns endast utförda i ett 20-tal områden i landet varför få regionala variationer i den geotermiska gradienten ännu är påvisade.








De sedimentära bergarterna i Skåne har dock påvisats ha högre geotermisk gradient jämfört med urberget. Temperaturloggningar från Skåne redovisas på fig 2.10-2.12.

I mätningar som utförts i Bohusgraniten har ett medelvärde på geotermiska gradienten på $16,2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ erhållits. Medelvärdet på temperaturgradienten i omgivande gnejs är låg enligt CTH publ B 104 och $11,4^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Några temperaturloggningar redovisas i fig 2.13-2.14 från CTH:s utredning.

Som jämförelse med den av SGU bestämda årsmedeltemperaturen 1968-1975 på grundvattnet i ytligare lager (oftast jord) har temperaturen på 100 m djup under markytan sammanställts med ledning av ovanstående utredningar (se fig 2.7 och bilaga 2).



Figur 2.9 Översiktskarta av Sveriges berggrund

-  Paleozoiska-Mesozoiska sedimentbergarter
-  Fjällkedjans bergarter (Kaledonierna)
-  Prekambriska graniter som normalt har högre värmefflöde än prekambriska bergarter i genomsnitt
-  Prekambriska granitområden med avsevärt högre värmefflöde än vad som normalt kan förväntas
-  Sydvästsvenska gnejsområdet
-  Andra prekambriska områden
-  Tektoniska huvudlinjer

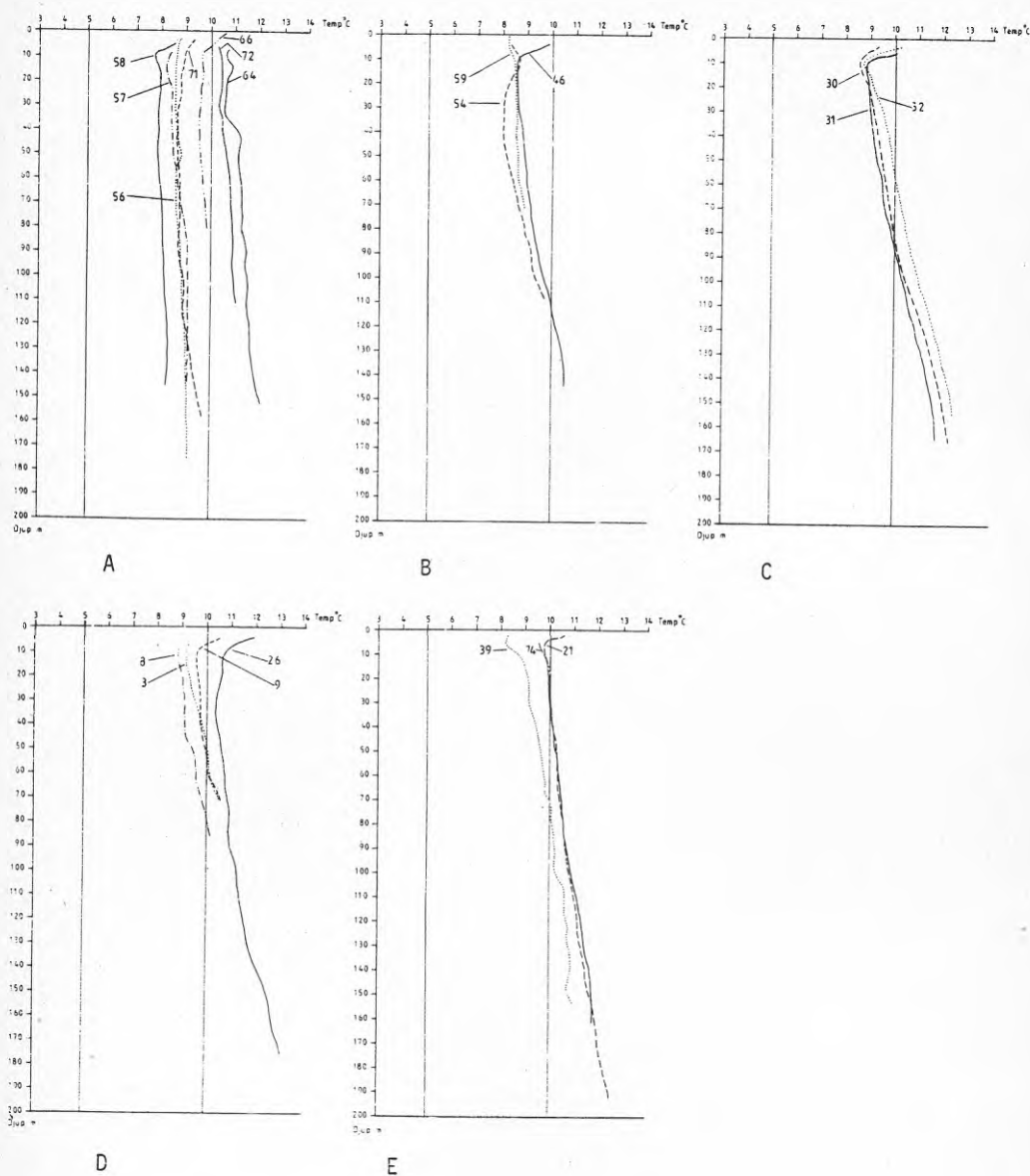


Fig 2.11 Temperaturprofiler från

A Kristianstadsslätten

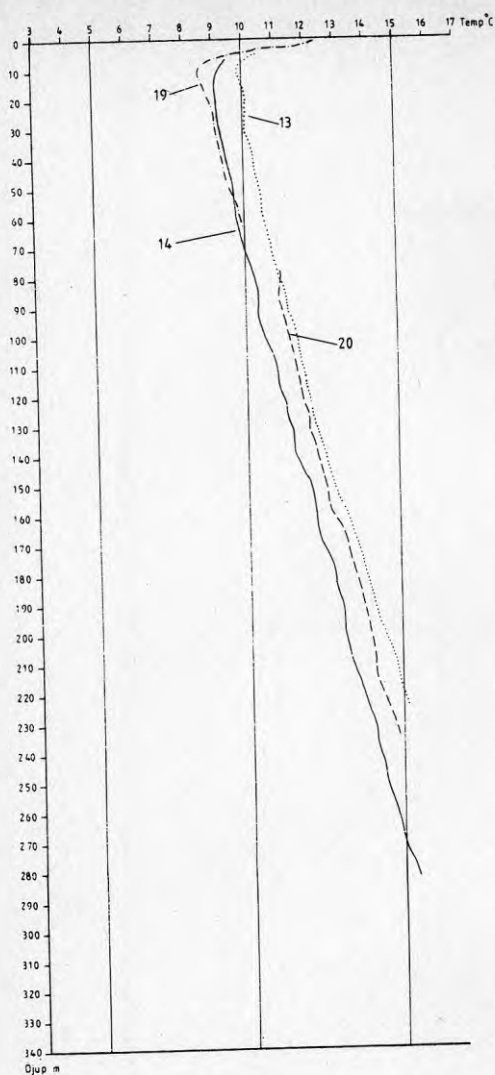
B Vombsänkan

C Habo Ljung

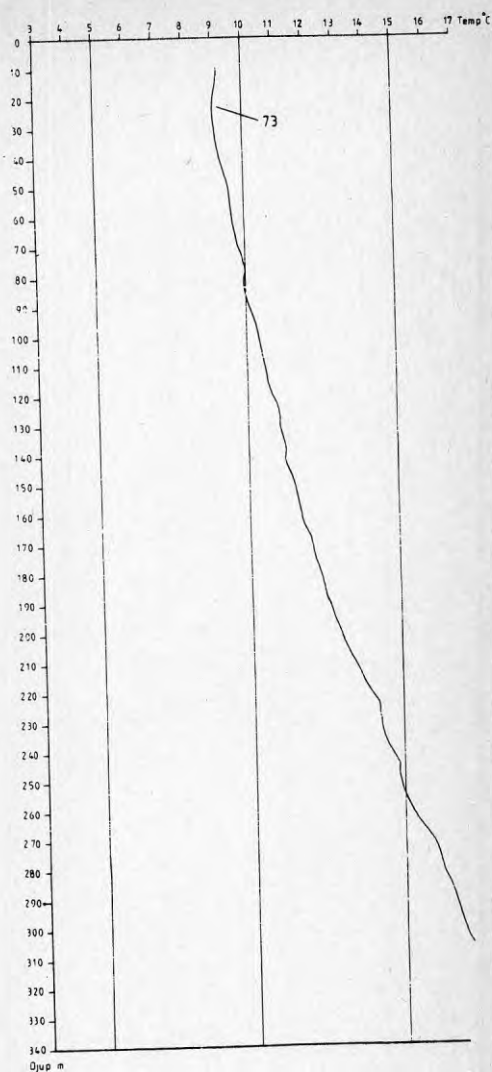
D Malmöområdet

E Landskrona

Från Geotermisk energiutvinning i Skåne. NE. Slutrapport Etapp 2 och 3
 1979



F



G

Fig 2.12 Temperaturprofiler från
 F Höllviken - Trelleborgsområdet
 G Svedala

Från Geotermisk energiutvinning i Skåne. NE. Slutrapport Etapp 2 och 3
 1979

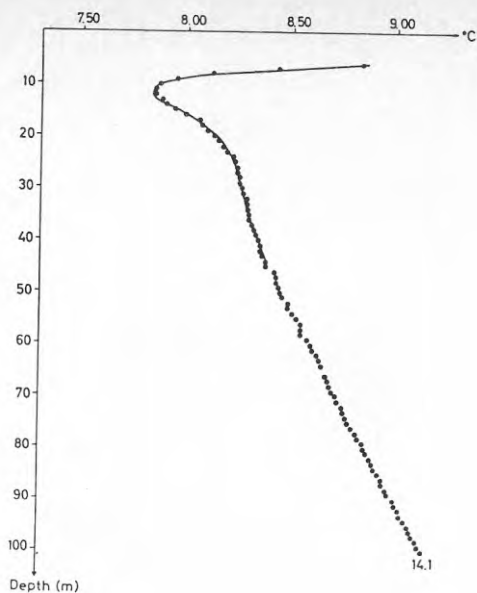


Fig 2.13 Temperatur-djupkurva från borrhål 9, Stattraff
(Tabell 5).

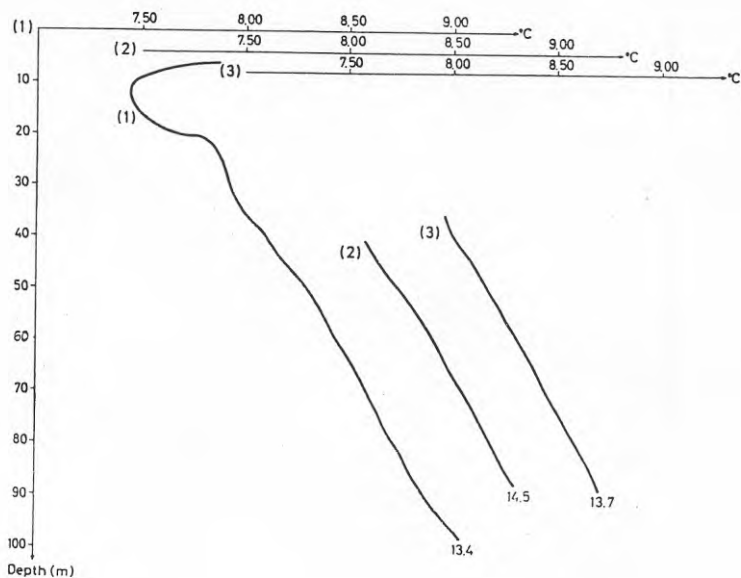


Fig 2.14 Temperaturmätta borrhål. Siffrorna inom parentes
a-h avser mätställen enligt kartan, fig 6. Siffrorna i
slutet av varje mätkurva anger temperaturgradienten
från 50 meters djup och nedåt.

Geotermisk gradient

Den geotermiska gradienten varierar i Sverige mellan 10-35°C/km. Gradienten är dock svår att exakt bestämma genom de förändringar som klimatet genomgått både under den senaste 100-årsperioden och även längre tillbaka i tiden. I bilaga 3 redovisas en tabell över uppmätta värden i olika delar av landet.

När det gäller borrade brunnar så kan en geotermisk gradient registreras under 30-50 m djup ovanför vilket djup de årtidsberoende temperaturvariationerna gör sig gällande. En årsmedelvärdesberäkning på dessa ger dock även uppgift om gradienten, fig 2.8. Enligt K-G Eriksson och D Malmqvist 1979 är temperatur-djupkurvorna konkava uppåt. Den varmare period som uppträtt i början och mitten på detta sekel är klart iakttagbar på temperatur-djupkurvorna på djup mellan 50-150 m såvida det inte är en effekt av termisk konvektion (K-G Eriksson och D Malmqvist, 1979).

Bergarternas värmeledningsförmåga

Bestämning av värmeledningsförmågan på bergarter är svårt att utföra beroende på att bergarternas sammansättning och struktur skiftar på ganska korta avstånd. Värmeledningsförmågan bestäms ofta på upptagna borrkärnor i laboratorium (Hasselström 1972, Parasnis 1975).

I nedanstående tabell redovisas värmeledningsförmågan hos bergarter i olika delar av landet enligt karta i bilaga 3.

Map No.	Rock type	N	\bar{x}	s	SEM	Chosen interval
A1	Porphyries	54	3.80	0.46	0.062	3.68-3.92
A2	Porphyries	-	-	-	-	3.2 -3.9
A3	Gneisses	47	2.37	0.46	0.067	2.24-2.50
B1	Quartzites	92	3.36	0.74	0.077	3.20-3.52
B2	Ore quartzites	-	-	-	-	3.0 -3.7
B3	Porphyries, green-stones	-	-	-	-	3.0 -3.7
B4	Ore quartzites	3	3.52	0.10	0.055	3.41-3.63
B5	Liparites	26	3.26	0.51	0.10	-
B5	Shales and greywackes	23	3.31	0.53	0.11	3.06-3.53
C1	Leptites	121	3.20	0.62	0.056	3.09-3.31
C2	Leptites	-	-	-	-	2.7 -3.2
C3	Leptites	100	3.53	0.67	0.067	3.40-3.67
C4	Granites, diorites	-	-	-	-	3.0 -3.5
C5	"Hälleflinta" ^a	59	4.24	0.57	0.075	4.09-4.39
C6	Leptites	34	3.42	0.76	0.13	3.15-3.68
D1-D3	Granites	8	3.69	0.28	0.10	3.49-3.99
E1	Granites	-	-	-	-	3.7 -4.2
E2	Leptites	-	-	-	-	3.0 -3.5
F1	Sandstones, shales and carbonates	-	-	-	-	1.9 -2.3

N, antal bestämningar; \bar{x} , aritmetiskt medeltal av bestämd värmeledningsförmåga i $\text{Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$; s, standarddeviationen för en observation; SEM, standardmedelfel.

Tabell över bestämda eller uppskattade värmeledningstal i svenska bergarter (efter K-G Eriksson och D Malmqvist 1979).

Som framgår av tabellen har graniter, leptiter, porfyrier och kvartsiter värmeledningstal över 3,0 W/m°C. Leptit är en finkornig silikatbergart härstammande från vulkaniska lavar, askor och vittringsrester. Liksom i granit är fältspat och kvarts huvudbeståndsdelar.

Porfyr är en övervägande kristallin massformig bergart som bildats genom stelning av lava på eller nära jordytan. Grundmassan har från kemisk synpunkt granitsammansättning men är oftast så tät att enstaka mineral Korn ej kan urskiljas med blotta ögat.

Värmefföde

Största problemet när det gäller att utvärdera värmeffödet ligger i att erhålla tillförlitliga värmeledningstal. Temperaturgradienten kan bestämmas med tillfredsställande noggrannhet. I bilaga 3 redovisas beräknat värmefföde i olika delar av Sverige och på fig 2.15 framgår variationerna mellan olika områden. Värmeffödets medelvärde för Sverige har beräknats till 56 mW/m². (K-G Eriksson och D Malmqvist 1979).

Skall den fortvarigt uttagbara effekten för en bergborrad brunn beräknas adderas bidraget från markytan och värmeffödet. Se kap 3.

Som exempel kan beräknas att i en 100 m djup bergborrad brunn, Ø 0,110 m, i granit erhålles vid 3°C temperaturdifferens mellan markyta och borrhål en fortvarigt uttagbar effekt av

$$3 \cdot 320W + 6 \cdot 36W = 1176W \approx 1,2kW$$

Praktiska erfarenheter av brunnar som drivits på detta sätt längre tid saknas. För kortare tid, 1-2 år, finns dock brunnar som varit i bruk, varvid värme uttagits från bergmassan till ett beräknat avstånd av 5-10 m från borrhålet. Det bör anmärkas att fig 2.2 är en teoretisk konstruktion gällande torrt berg. Genom grundvattnets inverkan kan det tänkas vara möjligt att driva brunnar även långsiktigt enligt cirkulationsprincipen, speciellt om ett visst vattenuttag kan ske under kallare perioder för att "värma upp" brunnen.

2.3 Recirkulation kombinerat med uppvärmning av brunnen (bergmassan) sommartid

Bergmassan inklusive grundvattnet i densamma har en mot norr avtagande temperatur. I nordligaste Sverige har temperaturer på 2,8 - 4,4°C konstaterats på 100 m djup. Värmepumpning på ett uttag av 4,4°C vatten utan återföring till brunnen är möjligt om vattentillgången är tillräcklig.

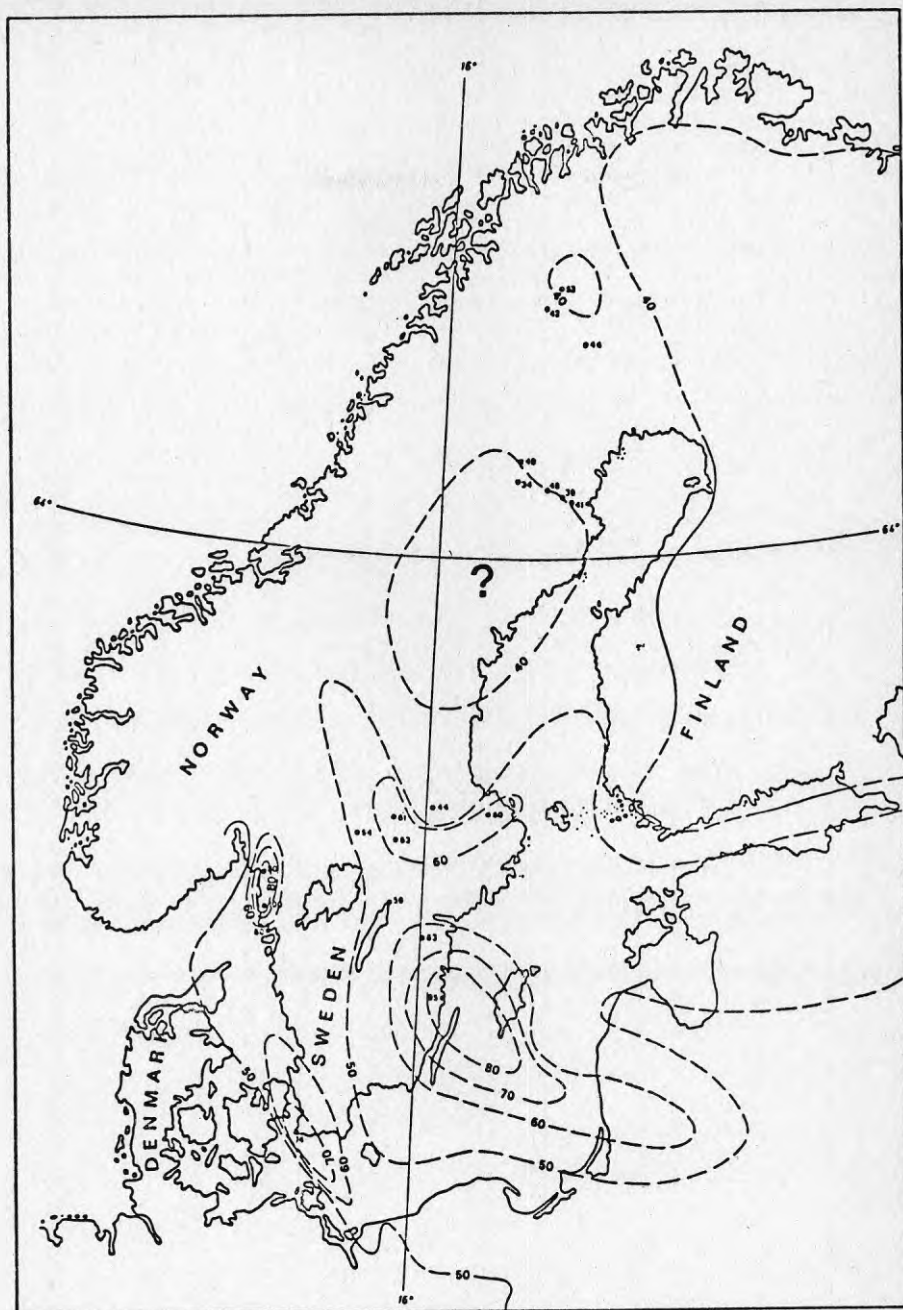


Fig 2.15 Karta visande uppskattade värmeflöden och isoflödeslinjer. Värdena är klimatkorrigerade.

Från D. Malmqvist 1978 "Some view-points on heat-flows in the baltic shield area" Nordic symposium on geothermal energy LTH

För södra Sverige har cirkulationspumpning visat sig vara ett tänkbart alternativ. Uttagstemperaturen har i dessa fall sjunkit till något över 4°C under den kallaste perioden. Cirkulationspumpning tillämpas därför att vattentillgången i de flesta fall är otillräcklig för att tillåta utpumpning av vatten. Genom cirkulationspumpningen kommer berget teoretiskt att kylas ned under normal temperatur i en zon några få meter från borrhålet under ett vinteruttag. För att återställa temperaturförhållandena i berget kan cirkulation av solvärt vatten i brunnen vara en framkomlig metod. Metodik för detta har ännu ej utarbetats men allt talar för att en laddning är möjlig. Några förluster uppstår ej heller så länge laddningen endast innebär att man höjer temperaturen till naturlig berggrundstemperatur. För cirkulation krävs ej större pump än ca 60W.

Temperaturen kan även tänkas höjas över den naturliga i berggrunden för att åstadkomma ett värmelager inför vintern. Man kan således tänka sig att man börjar med att "ladda" brunnen med t ex 9000 kWh för att kunna göra ett uttag av 18000 kWh under vintern. Nästa sommar måste dock en laddning ske med 18000 kWh för att kompensera uttaget och ge motsvarande laddningsberedskap inför nästkommande vinter.

Beräkningar visar dock att en mycket liten del av den inmatade värmen är möjlig att återvinna när man laddar över naturlig bergtemperatur. Laddningsmetodik, kostnader och utrustning för laddning avses studeras närmare i nästa etapp.

Cirkulationspumpning av solvärt vatten i en brunn för att kompensera värmeuttag kan eventuellt leda till en kemisk eller bakteriell vattenkvalitetsförändring i brunnen. Påverkan är beroende dels av temperaturen, dels den tekniska utrustningen för soluppvärmningen.

Närmare utredningar måste dock göras för att kunna bedöma om en "laddningsbrunn" också skall kunna utnyttjas som dricksvattenbrunn. Tillåtligheten av "laddning" måste bedömas utifrån risken att påverka någon intilliggande dricksvattenbrunn i kemiskt, biologiskt eller termiskt avseende.

2.4 Grundvattenkvalitet

Grundvattenkvaliteten har betydelse när det gäller bl a korrosion, utfällningar och påväxt och vidare när det gäller användbarheten av vattnet som dricksvatten.

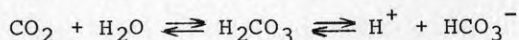
De egenskaper och komponenter i grundvattnet som är av primärt intresse att belysa är bl a

pH, klorid, sulfat och sulfider, syre - redoxförhållanden och organiskt innehåll

Någon allmän översikt av officiell karaktär över grundvattenkvaliteten i svenskt urberg finns ej. En undersökning finns dock av Wenner C G m fl 1974 som belyser vattenbeskaffenheten i svenska brunnar. I en utredning 1978 har G Jacks gjort en karakteristik av olika egenskaper och komponenter hos grundvattnet i graniter och gnejser. Utredningen bygger på vattenundersökningar i bergborrade brunnar i mellansverige och på djupen 0-100 m. Nedan har med ledning av ovanstående utredning av G Jacks sammanställts en del uppgifter.

pH och karbonatsystemet

Regnvatten har svagt aggressiva egenskaper. Först när regnvattnet passerat ett jordlager blir det aggressivt mot olika mineral. Jordluften har hög halt av koldioxid vilken bildas vid nedbrytningen av organiska material. Koldioxiden löser sig i det nedsipprande regnvattnet.



Vätejonen gör vattnet surt (kring pH 5). Vattnet neutraliseras emellertid mycket snabbt när vätejonen reagerar med mineralen.

I de flesta vatten bestäms pH av karbonatsystemet, dvs av fördelningen mellan kolsyra, bikarbonat och karbonat. Genom upptagning eller avgivande av vätejoner bildar dessa komponenter ett effektivt buffertsystem.

Ett antal brunnar i Gnesta, Skokloster och inom Verkaområdet har provtagits på olika djup. Fig 2.16 visar pH som funktion av djupet. Fig 2.17 visar minuslogaritmen för partialtrycket på koldioxiden som funktion av djupet. Alkaliniteten låg i dessa brunnar mellan 1-5 mekv/l vilket betyder 60-300 mg/l HCO_3^- . Medelvärdet var 3 mekv/l. I oxiderande miljö bildar koppar karbonatkomplex (CuCO_3^0).

Koppar ingår i form av ren koppar eller en kopparlegering i förångaren i de flesta värmepumpar, varför korrosionsrisken bör beaktas.

Av fig 2.16 framgår att få brunnar har pH lägre än 6 i det undersökta området. På västkusten och i Blekinge-Småland kan förhållandena dock vara sämre på grund av försurningen.

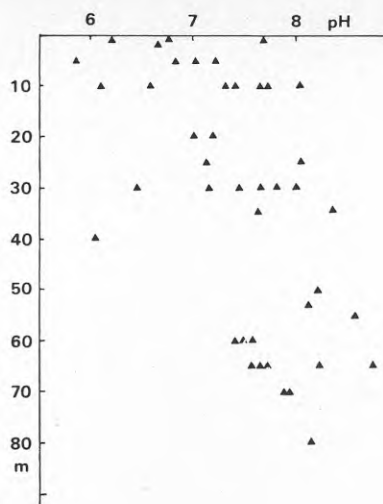


Fig 2.16 pH som funktion av provtagningsdjupet i brunnar vid Gnesta, Skokloster och i Verkaområdet

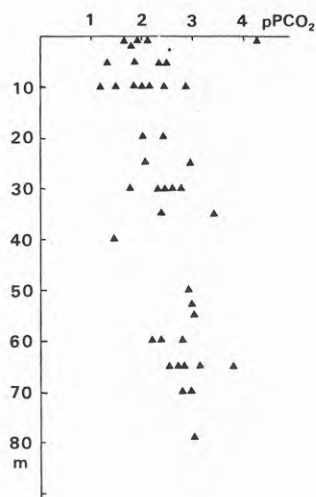


Fig 2:17 Negativa logaritmer för partialtrycket av koldioxid i grundvatten som funktion av djupet i brunnar vid Gnesta, Skokloster och i Verkaområdet

Klorid

Klorid härstammar i de fall högre halter noteras som regel från relikthavsvatten. Relikt havsvatten i jord och berg härstammar från tidigare geologiska perioder då vissa delar av landet täcktes av havet. Saltvatten i jord och berg urtvättas av nederbörden men dröjer sig kvar i sänkor i t ex Mälardalen, där grundvattencirkulationen på lägre nivåer ej varit tillräcklig. På fig 2.18 framgår kloridhalten som funktion av borrhålets marknivå för ett antal brunnar. På fig 2.19 framgår de områden, där risk föreligger för att saltvatten kan påträffas enligt en sammanställning gjord av SGU 1977.

Sulfat och sulfider

Sulfat SO_4^{--} är en komponent som sprids via atmosfären. För Sörmland och Uppland har koncentrationen i nederbörden under perioden 1955-1966 uppmätts till 3,2 mg/l. Med tillägg för 50% torrt nedfall och en trefaldig koncentration genom avdunstningen bör den slutliga koncentrationen i grundvattnet bli 14,4 mg/l. Av fig 2.20 framgår SO_4^{--} -innehållet i grundvattnet i diskuterat område.

Lägre innehåll än det beräknade är inte ovanligt. Detta kan ha flera orsaker. Transporten av svavel via atmosfären var lägre för några årtionden sedan. Svavel är också ett element som ingår i biologiskt material och kan bindas där. Sulfatreduktion är ytterligare en möjlighet. Svavelvätelukt H_2S kan tillfälligtvis observeras i borrhål i urberget. Om denna sulfatreduktion skett under infiltrationen genom jordlagret eller om den inträffat i bergets spricksystem är ej närmare känt. Bägge möjligheterna måste beaktas.

Högre sulfatinnehåll står i samband med relikthavsvatten och samma resonemang som gällde klorid gäller här. Maximalt har 800 mg/l SO_4^{--} observerats men detta är att betrakta som ett extremvärde.

Syre och redoxförhållanden

Från praktisk synpunkt är grundvatten att betrakta som syrefritt. Slutsatsen baseras på den jämvikt som råder mellan vattnet och vanliga mineral som pyrit och magnetit. Enligt fig 2.21 minskas syrehalten mot djupet i de undersökta brunnarna i Gnesta och Skokloster. Vanlig Winklerprovtagning har utförts. Halter på 0,2 mg/l och lägre kan tänkas vara syrefritt vatten. Mätta redoxpotentialer visar också en minskning mot djupet från ungefär 0,3V till 0,1V på 70-80 m djup.

Också närvaron av 2-värt järn Fe^{++} indikerar att syrehalten pO_2 är mycket låg. Konstaterat Fe i analyser kan också vara komplexbundet av organiska ämnen.

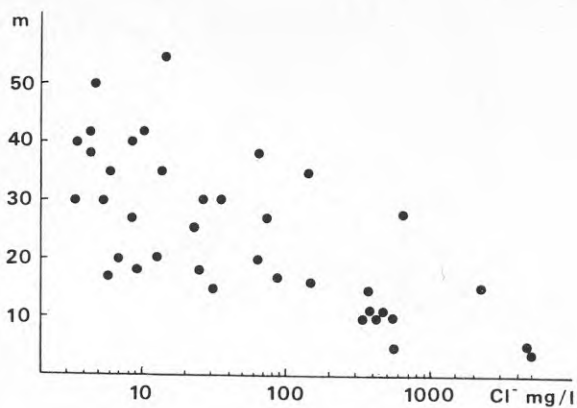


Fig 2.18 Cl-halter i brunnar som funktion av markytans nivå.
Från G. Jacks 1978

KLORID

Berggrundvatten,
observationer med halter
> 300 mg/l



Fig 2.19

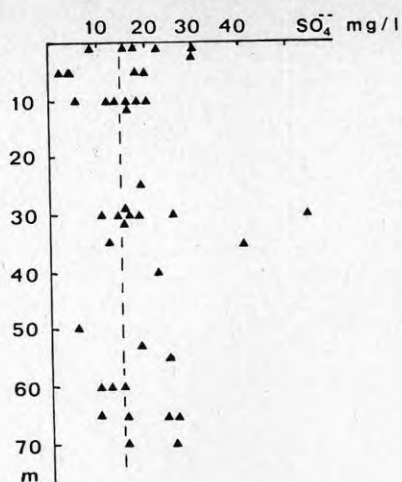


Fig 2.20 Sulfat i grundvatten som funktion av provtagningsdjupet. Streckad linje = bidrag från atmosfären. Från G. Jacks 1978

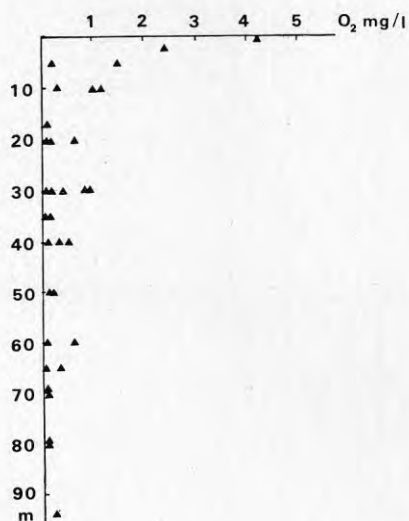


Fig 2.21 Syrehalten som funktion av provtagningsdjup i brunnar vid Gnesta och Skokloster. Från G. Jacks 1978

Organiska ämnen

Grundvatten i urberg har konstaterats innehålla organiska ämnen till en mängd av några tiotal mg/l (Rennerfelt 1977). Tre analyser från ca 45 m visar 15 mg organiskt kol per liter, vilket motsvarar 30 mg/l i organisk substans (Uusinoka 1975). Organiskt material är av betydelse då det kan befrämja mikrobiologisk aktivitet och genom dess komplexbildande egenskaper.

Om den organiska substansen kan befrämja mikrobiell verksamhet är dock inte klarlagt. Sulfatreducerande bakterier kan förekomma vid mycket låga koncentrationer av organiskt material (fettsyror). Enligt beräkningar som utförts på Alnarpströmmens grundvatten behöver den organiska halten för att *Desulfovibrio* skall finnas inte vara högre än 10^{-20} M.

Järn, mangan och aggressivitet

Enligt "Grundvattentillgångar i Sverige" SGU 1977, är de vanligast förekommande kvalitetsproblemen aggressivitet och höga järn- och manganhalter. Med aggressivt grundvatten förstås vatten som har ledningsangripande egenskaper. Vattnet kan vid vattenförsörjning behandlas så att olägenheterna elimineras. Vidare påpekas i SGU:s utredning att det oftast endast är ett fåtal brunnar inom ett område som har problem med vattenbeskaffenheten.

Föroreningsrisker

Vid cirkulationspumpning kan i sällsynta fall risk för bakteriell eller kemisk förorening av eventuella intilliggande dricksvattenbrunnar föreligga. En sådan risk kan uppstå om förorenat ytligt grundvatten eller djupliggande saltvatten cirkuleras mellan vattenförande spricksystem på olika nivåer i brunnen. Risker bör ej överskattas men uppmärksammas.

Vattenkvalitetskraven på en cirkulationsbrunn bör därför vara desamma som för en dricksvattenbrunn. Detta medför också att brunnen kan utnyttjas som dricksvattenbrunn.

Om en brunn med olämplig dricksvattenkvalitet planeras att drivas enbart som en cirkulationsbrunn för energiutvinning bör en särskild undersökning utföras för bedömning av föroreningsriskerna för främst intilliggande dricksvattenbrunnar.

3. ENERGI- OCH EFFEKTUTTAG

3.1 Energi- och effektuttag då vatten ej återföres till brunnen

3.1.1 Allmänna förutsättningar

Metoden förutsätter att vatten tas ur brunnen, passerar värmepumpen under avgivande av värme, och därefter släpps ut i avlopp eller recipient.

Vattnets temperatur efter passagen genom värmepumpen antages vara ca $+2^{\circ}\text{C}$. Utsläppet bör därför normalt ej vålla några nämnvärda olägenheter vare sig för ett dagvattennät eller för en naturlig recipient.

3.1.2 Erforderlig vattenmängd för givet energi- och effektuttag

Vattnets värmeinnehåll uppgår till ca $1,1 \text{ kWh/m}^3, ^{\circ}\text{C}$.

Om grundvattnets temperatur antages vara t ex $+6^{\circ}\text{C}$ och detta avkyls i en värmepump till $+2^{\circ}\text{C}$ kan således en energimängd på $4,4 \text{ kWh/m}^3$ utvinnas.

Ett flöde på $1 \text{ m}^3/\text{h}$, dvs ca 18 l/min , medger således en värmeeffekt på $1,1 \text{ kW}$ för varje grads temperatursänkning.

Om en fastighets maximala effektbehov antages vara 9 kW måste, om värmepumpens värmefaktor sätts till 3, en effekt på 6 kW tas ur grundvattnet. Härfor krävs vid en temperatursänkning på 4°C ett flöde på $1,4 \text{ m}^3/\text{h}$ motsvarande 23 l/min .

Om den årliga energiförbrukningen uppgår till 30.000 kWh tas 20.000 kWh från grundvattnet, vilket vid en temperatursänkning på 4°C kräver ett medeluttag under året motsvarande $0,52 \text{ m}^3/\text{h}$, dvs ca 9 l/min .

3.2 Energi- och effektuttag vid recirkulation

3.2.1 Allmänna förutsättningar

Vid beräkningarna har antagits att allt värme tas ut via vatten som efter passage genom värmepumpens förångare åter förs ned i brunnen. Vid en sådan recirkulation avleds ej ut något grundvatten.

Beräkningarna förutsätter vidare att ingen värmetransport sker via strömmande vatten i det omgivande bergets spricksystem. All värmetransport i berget fram till vattnet i borrhålet förutsättes således ske via ledning.

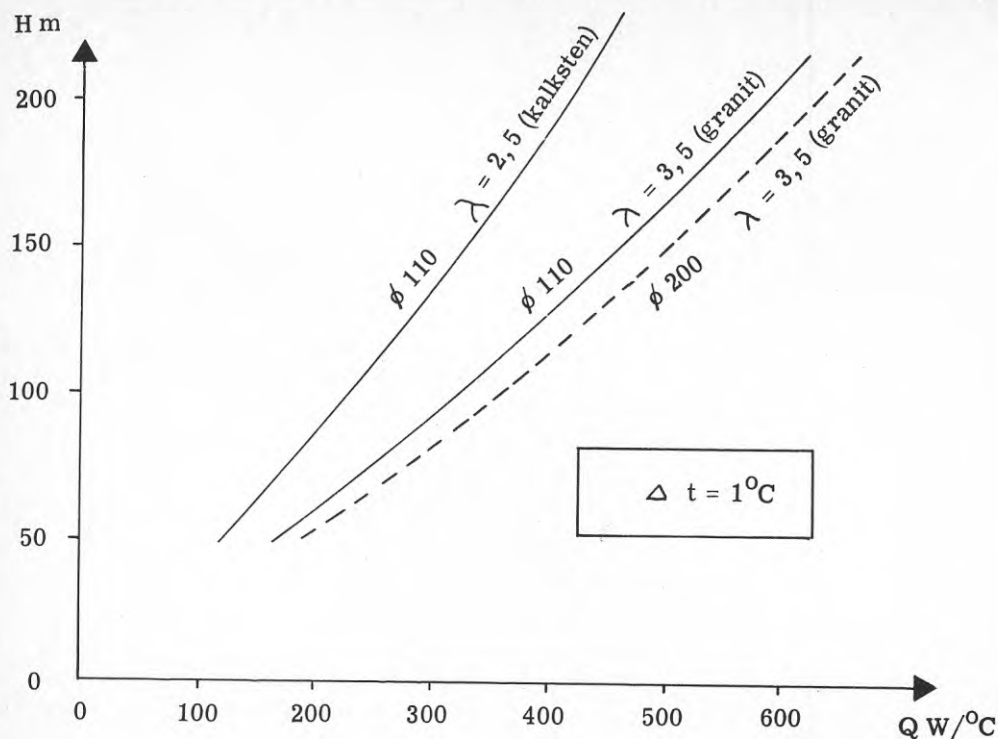


Fig 3.2. Kontinuerligt värmeflöde till ett borrhål med längden H vid temperaturdifferensen $1^\circ C$ mellan borrhål och markens medeltemperatur efter det fortvarighetstillstånd utbildats.

Den drivande temperaturdifferensen Δt , dvs skillnaden mellan borrhålets temperatur och markytans medeltemperatur kan bestämmas enligt följande.

Borrhålets vägg antas ha samma temperatur som det i hålet cirkulerande vattnet. Detta vatten antages, när det i avkylt tillstånd leds in i borrhålets ena ände, ha en temperatur av ca $+2^\circ C$. Vidare antages att det ur borrhålets andra ände uttagna vattnet har en temperatur på $+4^\circ C$. Borrhålets medeltemperatur blir då $+3^\circ C$.

Markytans medeltemperatur motsvaras relativt väl av grundvattentemperaturen på ca 5 m djup och kan då uppskattas med hjälp av isotermerna i fig 2.7. Ett normalt värde för mellan-Sverige kan vara 6 å $7^\circ C$.

Med ledning av ovanstående kan den drivande temperaturdifferensen uppgå till storleksordningen 3 å $4^\circ C$. Beroende på geografisk belägenhet och lokala förhållanden kan dock variationer på upp till ca $\pm 2^\circ C$ förväntas.

3.2.2 Konstant_effektuttag_vid_fortvarighetstillstånd

Effektuttaget ur ett borrhål, fig 3.1, kan vid uppnått fortvarighetstillstånd skrivas

$$Q = \frac{2\pi\lambda \cdot H \cdot \Delta t}{\ln \frac{H}{R} - 0,7} \dots\dots\dots (1)$$

där Q är effektuttaget i W

λ bergets värmeledningsförmåga, J/s,m,°C

H är borrhålets djup i m

Δt är temperaturdifferensen mellan borrhålet och markytans medeltemperatur, °C

R är borrhålets radie i m

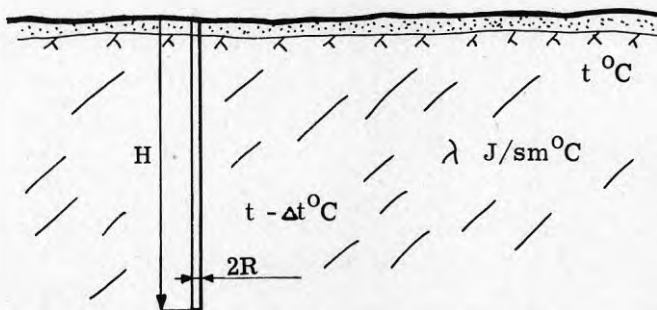


Fig 3.1. Bergbrunn. Principskiss.

Ekv (1) definierar det värmeuttag som under obegränsad tid kan tas från ett borrhål. Innan fortvarighetstillståndet uppnåtts tas värme från berget i borrhålets närhet. Bergets temperatur sjunker då och allteftersom värmeuttaget fortsätter kommer värmen att tas från bergvolymen som ligger allt längre från borrhålet. Efter tillräckligt lång tid kommer så gott som all värme att tas från markytan.

För ett givet borrhål är således den kontinuerligt uttagbara värmeeffekten bestämd av, och proportionell mot, den drivande temperaturdifferensen mellan borrhål och markyta.

Enligt ekv (1) beräknade värmeuttag framgår av fig 3.2 för olika håldjup, hålradier och λ -värden.

Utöver ovan beräknade värmefflöde tillkommer ett värmefflöde uppåt mot markytan, förorsakat av den geotermiska gradienten. Detta värmefflöde innebär ett extra värmeflöde till borrhålet. Storleken av detta tillskott kan genom en superponeringsmodell visas vara beroende enbart av borrhålets längd och radie men däremot oberoende av hålets temperaturnivå.

Värmeflödet till borrhålet vid olika borrhålsdjup och -radier framgår av fig 3.3. I figuren redovisas jordvärmefflödet för $0,01 \text{ W/m}^2$.

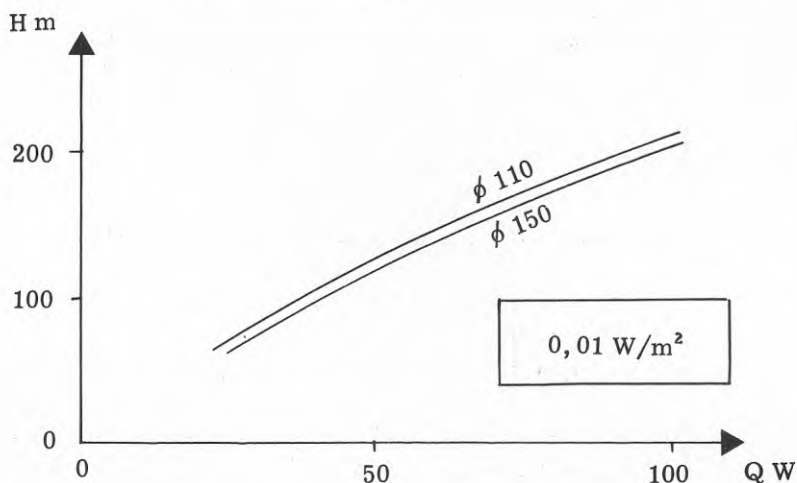


Fig 3.3. Värmeflödet till borrhålet p g a jordvärmefflödet $0,01 \text{ W/m}^2$.

Jordvärmefflödet varierar från ort till ort men är ofta av storleksordningen $0,06 \text{ W/m}^2$. Ett 100 m djupt borrhål får då ett tillskott av ca 220 W.

För ett borrhål med djupet 150 m, ϕ 110 mm, placerat i granit med $\lambda = 3,5$ och där jordvärmefflödet är $0,05 \text{ W/m}^2$ gäller enl ovan angivna samband att den maximala, kontinuerligt uttagbara effekten uppgår till

$$(460 \cdot \Delta t + 62 \cdot 5) \text{ W}$$

Om markytans medeltemperatur antages vara $+7,0^\circ\text{C}$ och om en minsta medeltemperatur i borrhålet antages vara $+3,0^\circ\text{C}$ fås att $\Delta t = 4,0^\circ\text{C}$, varvid den uttagbara effekten blir $460 \cdot 4,0 + 62 \cdot 5 = 1840 + 310 = 2150 \text{ W}$.

Eftersom denna effekt kan tas ut året om motsvarar den ett möjligt energiuttag på ca 17.000 kWh/år.

3.2.3 Varierande effektuttag. Fortvarighetstillstånd

Det under året erforderliga värmeuttaget är inte konstant. Uttaget kan betraktas som sammansatt av dels ett konstant medelvärdesuttag och dels ett på detta överlagrat tidsvariabelt uttag, vars nettovärde är noll. Se fig 3.4.

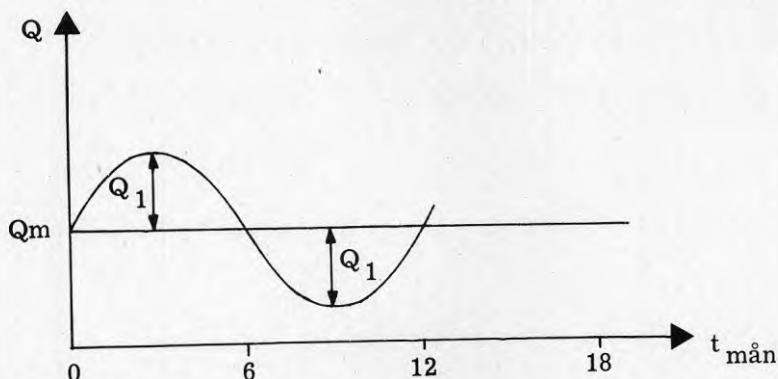


Fig 3.4. Medeleffektuttag med därpå överlagrat tidsberoende effektuttag.

Det tidsvariabla uttaget kan approximeras med en sinusfunktion, vars periodtid för t ex säsongvariationer blir 1 år. Ovanpå en sådan säsongvariation kan överlagras t ex månads- eller dygnsvariationer, även dessa approximerade till sinusfunktioner.

Det tidsberoende värmeuttaget från borrhålet kan skrivas på formen

$$Q(t) = Q_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{t_c} \cdot t + \varphi_1\right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

där Q_1 är det överlagrade värmeuttagets amplitud i W/m

t_c är periodens längd i s

φ_1 är flödets fas

Variationer med periodtider på högst 1 år påverkar berget endast 5 å 10 m från borrhålet. Värmeflödena kan därför vid långa borrhål anses radiellt riktade ut från hålet. Ekv (2) får då följande lösning för hålytans temperaturvariation.*

$$T(R,t) = \frac{Q_1}{2\pi\lambda} \cdot A\left(\frac{R}{d_c}\right) \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{t_c} \cdot t + \varphi_1 + B\left(\frac{R}{d_c}\right)\right] \dots\dots (3)$$

* Carslaw and Jaeger: Conduction of heat in solids. Second ed., 1959.

$$\text{där } d_c = \sqrt{\frac{a \tau c}{2\pi}} \quad \text{m}$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

$$A(x) = \frac{N_0(x)}{x \cdot N_1(x)} \quad \text{amplitudfaktor}$$

$$B(x) = -\frac{3\pi}{4} + \phi_0(x) - \phi_1(x) \quad \text{fasförskjutning i rad}$$

N_0 , N_1 , ϕ_0 och ϕ_1 är Kelvinfunktioner

Funktionerna $A(x)$ och $B(x)$ återfinnes i fig 3.5.

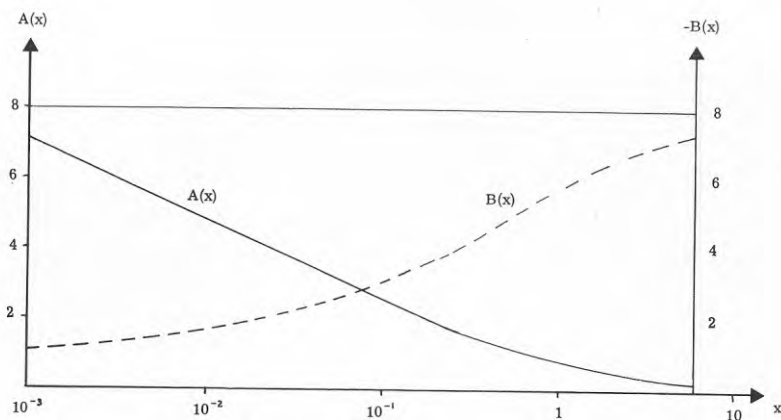


Fig 3.5. Funktionen $A(x)$ och $B(x)$.

Av ekv (3) framgår att den överlagrade temperatures amplitud är

$$\frac{Q_1}{2\pi\lambda} \cdot A\left(\frac{R}{d_c}\right)$$

där faktorn A :s värde är beroende på sinussvängningens periodtid.

Sambandet mellan amplituder för värmefflödes- och temperaturvariationer vid olika förhållanden framgår av fig 3.6-8. Beräkningarna har genomförts för granit ($\lambda = 3,5 \text{ J/s, m}^\circ\text{C}$ och $\rho c = 2,16 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3^\circ\text{C}$) och kalksten ($\lambda = 2,5 \text{ J/s, m}^\circ\text{C}$ och $\rho c = 2,16 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3^\circ\text{C}$).

Sambanden visar erforderliga temperaturamplituder för en effektamplitud på 1 W/m borrhål. Eftersom temperaturamplituden är direkt proportionell mot effektamplituden kan lätt även andra värden beräknas.

Berg- art \ R m	Granit	Kalksten
0,055	0,19°C	0,29°C
0,075	0,17°C	0,23°C

1 år

Fig 3.6 Erforderlig temperaturamplitud för effektamplituden 1 W/m. Periodlängd 1 år.

Berg- art \ R m	Granit	Kalksten
0,055	0,10°C	0,13°C
0,075	0,09°C	0,11°C

1 vecka

Fig 3.7 Erforderlig temperaturamplitud för effektamplituden 1 W/m. Periodlängd 1 vecka.

Berg- art \ R m	Granit	Kalksten
0,055	0,064°C	0,083°C
0,075	0,055°C	0,049°C

1 dygn

Fig 3.8 Erforderlig temperaturamplitud för effektamplituden 1 W/m. Periodlängd 1 dygn.

Som framgår av 3.6-8 erfordras för en given effektamplitud lägre temperaturamplituder ju kortare periodtiden blir.

Tillämpningsexempel:

Sambandet mellan håltemperatur och olika säsongsvariande effektuttag studeras för ett borrhål i granit ($\lambda = 3,5$) med djupet 150 m och radien 0,055 m. Markytans medeltemperatur antages vara $+7^{\circ}\text{C}$ och jordvärmeflödet $0,06 \text{ W/m}^2$.

a) Årsmedeleffekt_2_kW

Borrhålet antages belastat med ett kontinuerligt effektuttag på 2 kW på vilket ett sinusformat uttag med periodlängden 1 år är överlagrat. Det överlagrade effektuttagets amplitud antages vara Q_1 . Se fig 3.9.

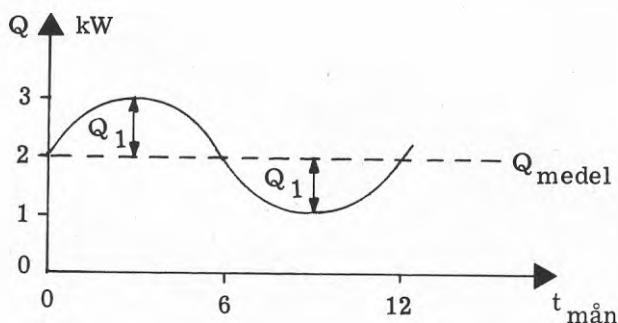


Fig 3.9 Effektuttagets variation under året.

Av den uttagna medeleffekten härrör ca 360 W från jordvärmeflödet, fig 3.3. Resterande 1140 W belastar markytan och kräver enl fig 3.2 en drivande temperaturdifferens på $1640/460 = 3,6^{\circ}\text{C}$. Borrhålets medeltemperatur blir då $7,0 - 3,6 = 3,4^{\circ}\text{C}$.

Med hänsyn till värmepumpens erforderliga in- och utloppstemperaturer med tanke på frysrisk etc bör borrhålet ha en minimitemperatur, räknad som medeltemperatur längs borrhålet, på ca $+3^{\circ}\text{C}$. Jfr kap 4

Tillgänglig temperaturamplitud för ett överlagrat effektuttag blir då endast $0,4^{\circ}\text{C}$. Enligt fig 3.6 motsvaras detta av en effektamplitud på $0,4/0,19 = 2,1 \text{ W/m}$, dvs 320 W för hela borrhålet.

Med ett medeleffektuttag på 2 kW, motsvarande en årlig energimängd på 17.500 kWh, kan således det maximala effektuttaget endast uppgå till 2,32 kW under förutsättning av en periodtid enl fig 3.9 på 1 år.

b) Årsmedeleffekt_1,5_kW

Borrhålet antages belastat med ett kontinuerligt effektuttag på 1,5 kW på vilket är överlagrat ett sinusformat uttag med amplituden Q_1 och perioden 1 år.

Jordvärmestillskottet är även i detta fall 360 W, varför 1140 W skall anses belasta markytan vilket enl fig 3.2 kräver en drivande temperaturdifferens på $1140/460 = 2,5^\circ\text{C}$.

Borrhålets medeltemperatur blir då $4,5^\circ\text{C}$. Tillgänglig temperaturamplitud för ett överlagrat effektuttag blir då $4,5 - 3,0 = 1,5^\circ\text{C}$, vilket enl fig 3.6 motsvarar en effektamplitud på $1,5/0,19 = 7,9 \text{ W/m}$, dvs 1200 W för hela borrhålet.

Med ett medeleffektuttag på 1,5 kW, motsvarande en årlig energimängd på 13.200 kWh, kan således det maximala effektuttaget uppgå till 2,7 kW under förutsättning av en periodtid av 1 år.

c) Årsmedeleffekt_0_

Borrhålet laddas under sommarhalvåret varefter uttag sker under vinterhalvåret. Förloppet antages sinusformat med perioden 1 år. Se fig 3.10.

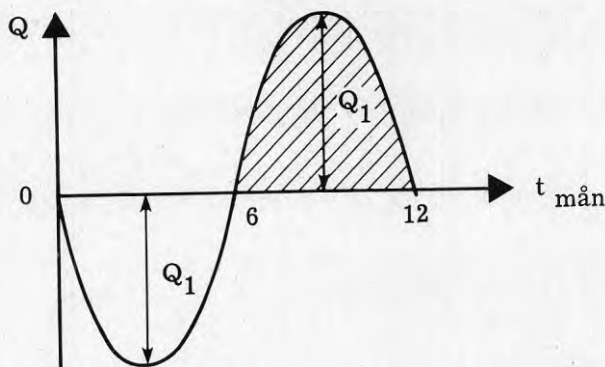


Fig 3.10 Laddning och uttag. Periodtid 1 år

Eftersom årsmedeleffekten är 0 blir borrhålets årsmedeltemperatur +7°C.

För effektuttag tillgänglig temperaturamplitud blir då $7,0 - 3,0 = 4,0^\circ\text{C}$, vilket enl fig 3.6 motsvarar en effektamplitud på $4/0,19 = 21 \text{ W/m}$, dvs 3200 W för hela borrhålet.

Med hänsyn till det geotermiska flödet uppgår den maximala effektamplituden till $3200 + 360 = 3560 \text{ W}$.

Energiuttaget (shatterade ytan i Fig 3.10 uppgår till $3200 \cdot 8760/\pi = 8900 \text{ kWh}$, vartill kommer energitillskottet genom det geotermiska flödet, dvs $0,36 \cdot 8760 = 3200 \text{ kWh}$.

För att under vinterhalvåret sinusformat ta ut 12.000 kWh med en max effekt på 3,6 kW erfordras en laddning sommartid på 8900 kWh.

3.2.4 Konstant effektuttag i initialske-

I ett initialske av storleksordningen några år kan vid relativt djupa borrhål vertikala värmeeffekter försummas.

Erforderlig drivande temperaturdifferens i förhållande till omgivande orört berg kan då skrivas.*

$$T(r,t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \cdot E_1\left(\frac{r^2}{4at}\right) \dots\dots\dots (4)$$

där T är undertemperaturen i förhållande till omgivande, orört berg

r är radiella avståndet från brunnens centrum

q är uttagen effekt W/m

λ är bergets värmeledningstal J/s, m, °C

a är $\frac{\lambda}{\rho c}$ m²/s

funktionen E_1 ges av $E_1(z) = \int_z^\infty \frac{e^{-t}}{t} dt$

för små z gäller $E_1(z) \approx -\ln(z) - \gamma$, där $\gamma = 0,577$

Den i brunnen gällande, drivande temperaturdifferensen till omgivande opåverkat berg kan då skrivas

$$T(r_0 t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \left[\ln \frac{4at}{r_0^2} - \gamma \right] \dots\dots\dots (5)$$

Med användning av månader som tidsbas, $t_m = \dots \cdot 10^6 \text{ s}$, kan ekv (5) skrivas

$$T(r_0 t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \left[\ln \left(\frac{4a t_m}{r_0^2} \right) - \gamma + \ln \left(\frac{t}{t_m} \right) \right] \dots\dots\dots (6)$$

Observera att formeln ej är giltig vid alltför små t. (t bör vara $> \frac{50 \cdot r_0^2}{4a}$ varvid felet blir $< 1\%$).

* Johan Claesson 1980-03-21: Radiellt värmeuttag från djup brunn.

Exempel:

Erforderlig drivande temperaturdifferens kan nu bestämmas för t ex ett borrhål i granit med $\lambda = 3,5 \text{ J/s, m, } ^\circ\text{C}$, $a = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Borrhålets radie är 0,05 m. För ett kontinuerligt, konstant effektuttag 20 W/m fås om uttaget startar vid tiden noll följande uttryck

$$T(r_{01}, t) = 0,45 \left(8,24 - \ln \frac{t}{t_m} \right)$$

Om temperaturen i omgivande opåverkat berg är $+7,0^\circ\text{C}$ fås erforderliga borrhålstemperaturer enl fig 3.11.

Månad efter start	1	2	3	6	12	24	36	120
$T(r_{01} \text{ } ^\circ\text{C})$	3,7	4,1	4,2	4,6	4,9	5,2	5,4	5,9
Borrhålstemp $^\circ\text{C}$	3,3	2,9	2,8	2,4	2,1	1,8	1,6	1,1

Fig 3.11 Erforderlig borrhålstemperatur för kontinuerligt uttag av 20 W/m då omgivande bergs temperatur är $+7,0^\circ\text{C}$.

Erforderliga borrhålstemperaturer enl fig 3.11 blir snabbt lägre än de ca $+3,0^\circ\text{C}$ som med hänsyn till värmepumpsdriften kan betraktas som en minimitemperatur.

För att icke underskrida angivna $+3^\circ\text{C}$ förrän efter t ex 3 år måste den kontinuerligt uttagna effekten begränsas till $4,0/5,4 \cdot 20 = 14,8 \text{ W/m}$ eller 2,1 kW för ett 150 m djupt hål.

3.2.5 Varierande effektuttag i initialskeudet

Olika lösningar till värmeledningsekvationen, ekv (6), kan superponeras. Härigenom kan t ex inverkan av olika laddnings- och uttagspulser beräknas.

Antag t ex ett värmeuttag med effekten q under tiden $0 < t < t_1$ samt att därefter varken uttag eller laddning sker. Under den första tiden $0 < t < t_1$ gäller den tidigare angivna lösningen, ekv (6). Förloppet vid $t > t_1$ kan tänkas som ett fortsatt uttag q plus ett nytt uttag $-q$ (dvs laddning) som startar vid tiden t_1 .

För tiden $t > t_1$ fås då genom superponering följande ekv.

$$T(r_{01}, t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln \frac{t}{t-t_1} \dots\dots\dots (7)$$

Månad efter start t/t _m	juli		sept		nov		jan		mars		maj	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T(r_o, t)$ °C	-	-	1,9	2,0	5,9	6,2	8,4	8,7	7,1	7,1	3,4	3,1
Borrhålstemp °C	7,0	7,0	5,1	5,0	1,1	0,8	-1,4	-1,7	-0,1	-0,1	3,6	3,9

Fig 3.14 Erforderlig drivande temperaturdifferens resp borrhålstempertur vid effektuttag enl fig 3.13

Som framgår av fig 3.14 behöver borrhålets temperatur redan under november sänkas under den tidigare angivna acceptabla gränsen på +3°C. Effektuttag enl fig 3.13 är ej möjliga utan att tillgripa frysning.

c) Laddning och därefter varierande uttag

Samma förutsättningar antages som i fig 3.14 ovan men nu laddas borrhålet under månaderna maj t.o.m augusti med en konstant effekt 40 W/m.

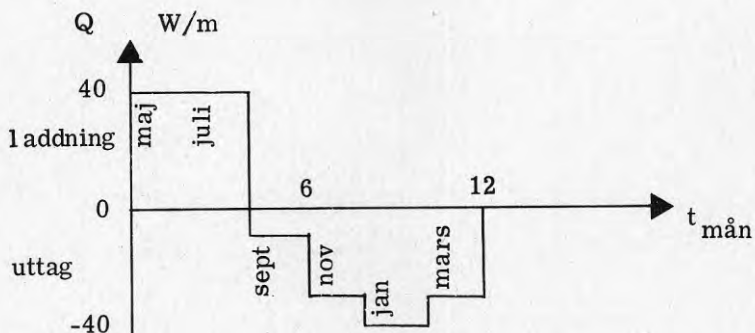


Fig 3.15 Laddning och effektuttag per m borrhål.

Månad efter start t/t _m	maj 1	2	juli 3	4	sept 5	6	nov 7	8	jan 9	10	mars 11	12
T(r ₀ ,t) °C	-7,5	-8,2	-8,6	-8,8	0,4	1,1	5,1	5,7	7,9	8,3	6,7	6,7
Borrhålstemp °C	14,5	15,2	15,6	15,8	6,6	5,9	1,9	1,3	-0,9	-1,3	0,3	0,3

Fig 3.16 Erforderlig drivande temperaturdifferens resp borrhålstemperatur vid laddning och effektuttag enl fig 3.15

I exemplet laddas borrhålet under 4 månader med en effekt, 40 W/m, som är lika stor som det efterföljande maximala uttaget. Som framgår av en jämförelse mellan fig 3.14 och fig 3.16 krävs dock vid effektuttag efter en laddning nästan lika låga borrhålstemperaturer som då ingen laddning skett. I exemplet uppgår förbättringen endast till ca 0,2°C under de mest kritiska månaderna januari och februari.

För att med bibehållet uttagsprogram även under januari-februari klara ett uttag på 40 W/m utan att borrhålets medeltemperatur sjunker under +3°C krävs en laddning under maj-augusti med ca 400 W/m, vilket i sin tur kräver en övertemperatur i borrhålet på ca 80°.

3.2.6 Inverkan av strömmande grundvatten

I kap 3.2 angivna ekvationer och samband förutsätter att all värmetransport sker genom ledning. Värmetransport genom i bergets sprickor strömmande vatten har ej beaktats.

I den mån bergets spricksystem genomströmmas av grundvatten kommer detta att vid uttag positivt påverka borrhålets effekt- och energikapacitet. Om borrhålet laddas, vilket ju måste ske vid temperaturer som är högre än omgivningens, kommer däremot en grundvattenström helt eller delvis att föra bort den tillförda laddningsvärmen.

3.3 Recirkulation kombinerat med vattenuttag som ej återförs

I den mån borrhålets kapacitet som vattenbrunn ej är tillräcklig för erforderligt värmeuttag kan recirkulation kombineras med nettoutpumpning. Den eventuella tilläggs effekt som erhålles härigenom är emellertid svår att beräkna och har ej behandlats i denna förstudie.

4. VÄRMEPUMP

4.1 Vattenuttag från bergborrad brunn4.1.1 Inledning

Såsom visats i kapitel 3 kan vattnet tas ur brunnen såväl upptill som nedtill. Eftersom vatten har sin största densitet vid $+4^{\circ}\text{C}$ kan man endast vid temperaturer över 4°C anta att det varmaste vattnet tenderar att lägga sig överst i brunnen. Utförda mätningar visar dock en mot djupet ökande temperatur. Detta visar att egenkonvektionen i borrhålet sker långsammare än värmeutbytet med omgivande berg.

De pumptyper som i första hand kommer ifråga är dränkbara centrifugalpumpar och självsugande centrifugalpumpar placerade ovan vattenytan. En ejektorpump kan normalt anses ge en alltför låg verkningsgrad.

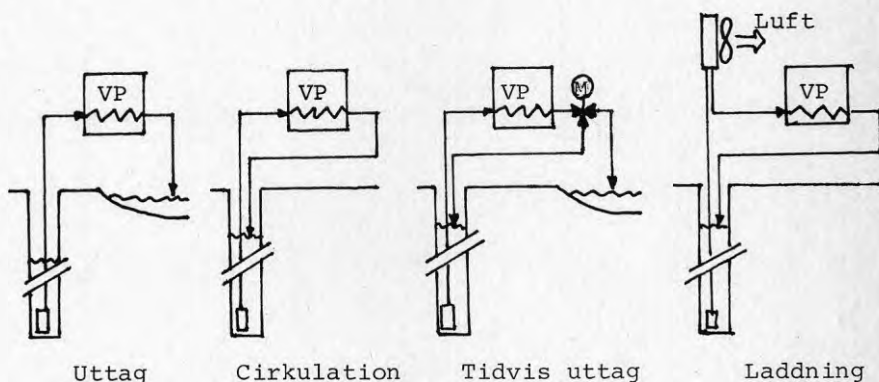


Fig 4.1 Några exempel på värmeuttagssystem.

När avkyllt vatten återleds till brunnen kommer vattentemperaturen att bli lägre. Som framgår nedan (se 4.2) är en utgående vattentemperatur ned till 4°C och en returtemperatur till brunnen ned till 2°C ett troligt arbetsområde. Under dessa förhållanden är vattnets benägenhet att cirkulera p g a temperaturskillnader mycket liten, varför uttagspunktens läge kan bestämmas av andra faktorer.

4.1.2 Ingen återföring av avkylt grundvatten till brunnen

Temperaturskillnaderna mellan uttag på olika nivåer i brunnen är så små att de i stort inte inverkar på systemets funktion. Uttagspunkten bör istället placeras så att vatten alltid med säkerhet är tillgängligt, dvs mellan lägsta vattenytan och brunnens botten.

I de flesta fall torde uppfordringshöjden vara så stor att endast dränkbara centrifugalpumpar kan komma ifråga. Pumpen i brunnen skall för att spara vatten och el endast arbeta när värmepumpen arbetar. Den skall emellertid starta något tidigare och stoppas något senare än värmepumpen för att hindra frysning. Av samma orsak är det fördelaktigt om vattensystemets utlopp är fritt mot atmosfären och att rör och slangar är så förlagda att systemet töms automatiskt vid stopp av pumpen.

För att skydda vattenpumpen mot torrgång bör en nivåvakt finnas i brunnen.

Exempel på vattenflöden och pumparbeten ges i tabell 4.1.

Temperatur °C		Vattenflöde			Pumpeffekt
Ingående	Utgående	m ³ /h	l/min	l/s	W
8	4	1300	22	0,35	350
8	2	860	14	0,23	230
6	4	2600	43	0,71	700
6	2	1300	22	0,35	350
5	2	1700	29	0,48	500
4	2	2600	43	0,71	700

Tabell 4.1 Erforderlig vattenmängd vid ett effektuttag av 6 kW i värmepump vid olika vattentemperaturer. Pumparbetet för vattenpumpen har beräknats för 30mvp tryckuppsättning (10mvp tryckfall, 20mvp uppföring) och en totalverkningsgrad av 30% för vattenpumpen.

4.1.3 Total återföring av avkylt grundvatten till brunnen

Enligt 4.1.1 bortses från vattnets skiktning i brunnen. Pumpen placeras så att brunnens längd utnyttjas på bästa sätt. Om grundvattennivån varierar starkt bör pumpen placeras i brunnens botten och återföring av vatten ske till brunnens övre del. Om lyfthöjden överstiger ca 7 m måste en dränkbar pump väljas.

Dränkbara pumpar har oftast diametern ca 100 mm. Om borrhålets diameter är av standardtyp ca 110 mm är det ej möjligt att placera pumpen upptill, eftersom returslangen till brunns botten ej kan passera pumpen. Om borrhålet ges diametern ca 150 mm kan detta genomföras.

Om den lägsta grundvattenytan ligger grundare än ca 7 m under värmepumpanläggningen kan cirkulationspumpen placeras vid värmepumpen. Pumpen kommer då att arbeta vid undertryck och måste vara av en s k självsugande typ. Varje läckage i pumpsystemet leder till luftinläckning. Luften samlas gärna vid pumpen och när tillräckligt mycket läckt in upphör pumpfunktionen. För att upprätthålla driftsäkerheten bör en sådan pump aldrig stoppas, eftersom små mängder inläckande luft förs bort med vattenströmmen under drift. Det innebär att energiförbrukningen blir större och driftsäkerheten lägre för denna placering av pumpen.

Vid cirkulation av vattnet behöver pumpen endast motverka tryckfall i slangar och värmeväxlare eftersom vattnet cirkuleras i samma hydrauliska system. Det nödvändiga pumparbetet minskar således. Ca 10mvp kan anses vara ett normalt tryckfall vid denna systemtyp. Pumpens tryckkaraktistika måste vara sådana att tryckskillnaden mellan lägsta vattennivå och värmepumpens nivå kan övervinnas vid start.

Om slangen som för ned vattnet mynnar ovanför vattenytan uppstår inte hävertverkan vid låga strömningshastigheter och pumparbetet ökar. Om slangen mynnar under vattennivån kan problem uppstå om strömningshastigheten i slangen är så liten att luft stannar kvar.

Vid antagandet att ett tryckfall av 4mvp/100 m slang medför att luften förs med vattnet nedåt erhålles följande största invändiga diameter på slangen för det nedåtgående flödet:

Flöde	l/s	0,36	0,48	0,72	1,4
Hastighet	m/s	0,9	0,95	1,1	1,3
Diameter	mm	22	25	29	37

Övriga slangar och rör bör väljas med större diameter för att minska systemets tryckfall.

Där den nedåtgående slangen passerar lägsta vattenytan kan ett öppet vattenlås arrangeras enligt fig 4.2 samtidigt som övergången till större slangdiameter sker.

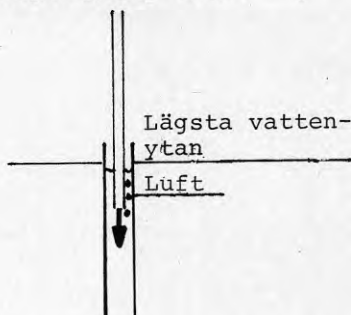


Fig 4.2 Princip för öppet vattenlås.

Exempel på vattenflöden och pumparbeten ges i tabell 4.2.

Temperatur °C		Vattenflöde			Pumpeffekt
Ingående	Utgående	m ³ /h	l/min	l/s	W
6	2	1,3	22	0,36	120
6	3	1,7	29	0,48	160
6	4	2,6	43	0,72	240
5	2	1,7	29	0,48	160
5	3	2,6	43	0,72	240
4	2	2,6	43	0,72	240
4	3	5,2	86	1,4	480
3	2	5,2	86	1,4	480

Tabell 4.2 Erforderlig vattenmängd vid ett effektuttag av 6 kW i värmepump vid olika vattentemperaturer. Pumparbetet för vattenpumpen har beräknats för 10mvp tryckfall och en totalverkningsgrad av 30% för vattenpumpen.

4.1.4 Återföring till brunnen kombinerat med nettouttag av avkyllt grundvatten

Som framgår i 4.3 är det önskvärt att ingående vatten och framförallt utgående vatten från värmepumpen har så hög temperatur som möjligt. Detta gäller särskilt när värmebehovet är stort, eftersom värmepumpens avgivna effekt ökar med ökande grundvattentemperatur. Vid total återföring av grundvattnet sjunker dess temperatur under perioder med stort värmebehov, samtidigt sjunker också den avgivna effekten från värmepumpen.

Det är då önskvärt att höja vattentemperaturen eller åtminstone hindra dess sänkning för att öka värmepumpens avgivna effekt och därmed minska behovet av kompletteringsvärme under köldperioder. Detta kan uppnås genom att ett nettoflöde tidvis tas från brunnen, se kap 2. Uttagsflödet kan utgöra hela eller del av det normalt cirkulerande vattenflödet. Styrningen av uttaget kan ske kontinuerligt eller diskontinuerligt. Uttaget kan styras av variablerna:

- låg vattentemperatur i brunnen
- låg utomhustemperatur
- hög utnyttjningsgrad på värmepumpen, (dvs värmepumpen arbetar nästan hela tiden)

För att skydda vattenpumpen mot torrgång bör det finnas en nivåvakt i brunnen som kan stänga uttagsventilen.

Pumpen måste dimensioneras så att den förmår lyfta tillräcklig vattenmängd till markytan också utan hävertverkan. Pumpenergibehovet ökar härigenom jämfört med systemet för fullständig återföring. Tryckuppsättningen blir densamma som i fallet utan återföring men flödet blir större, varför detta system kräver mer energi till vattenpumpen än de andra systemen.

Om lägsta grundvattenytan vid uttag ligger mindre än 10 m ned är skillnaden liten.

4.1.5 Värmeladdning av brunnen under sommarhalvåret

Som framgår av kap 3 kan det bli nödvändigt att tillföra energi till berggrunden om grundvattenströmningen är av liten omfattning så att värme endast tillförs genom ledning genom berget.

För att systemet skall bli lönsamt måste laddningsenergin vara billig och investerings- och driftkostnaderna små. Ett sådant system är luftvärt flänsbatteri med fläkt för värmning av grundvattnet till temperaturer några grader under omgivningens temperatur. Att under sommaren leda ned varmt ytvatten i brunnen är med tanke på vattenkvalitetsproblemen inte en så attraktiv lösning. Detta kan ge föroreningar i grundvattnet och beläggningar i värmepumpen. Mycket enkla solfångarkonstruktioner kan också användas. En traditionell solfångare ger en alltför stor investeringskostnad.

Om laddningssystemet används vid låga utetemperaturer kan sönderfrysning eller driftstörningar inträffa. Om laddningssystemet är bortkopplat och dränerat under den del av året när frostrisk föreligger elimineras riskerna. Omkopplingen till sommar drift med laddning kan ske manuellt utan komplicerad styrutrustning.

4.2 Överföring av energi från grundvatten till värmepumpens förångare

Energi från vattnet överförs till värmepumpen (se 4.3) via en värmeväxlare. För att värmetransport skall äga rum måste temperaturen på värmeväxlarens energimottagande sida vara lägre än på den energiavgivande sidan, dvs grundvattensidan. Med hänsyn till de vattentemperaturer som diskuterats ovan kan konstateras att risken för frysning måste beaktas.

4.2.1 Vattentemperaturer

För att utnyttja vattnet maximalt är det önskvärt att kyla till 0°C och helst också frysa vattnet. Den energimängd som erhålles vid frysning av vatten motsvarar ca 80° temperatur-sänkning. Problemen med ishantering i små system är emellertid betydande. Kvittblivningen av is är också ett stort problem, eftersom ett årligt energibehov för ett småhus av 20.000 kWh motsvaras av drygt 200 ton is.

Här diskuteras endast avkylning av grundvatten och ej fryshastighet. För att hindra isbildning på värmeväxlarytorna måste man som regel begränsa kylningen till $+2^{\circ}\text{C}$. Vissa typer av värmeväxlare klarar kylning till 1°C men dessa är troligen inte tillämpliga i småhus.

4.2.2 Värmeväxlarkonstruktioner

Värmeväxlarkonstruktioner i värmepumpar för småhus är vanligen av s k koaxialtyp eller dubbelrörsvärmeväxlare, dvs ett mindre rör instuckt i ett större rör, fig 4.3. Ofta rullas värmeväxlaren till en slinga för att spara plats. Koaxialtypen ger goda värmeöverföringsegenskaper, eftersom båda medierna kan ges en lämplig strömningshastighet. Vidare är konstruktionen billig i tillverkning när det gäller små värmeytor. En nackdel är att den kan frysa sönder.

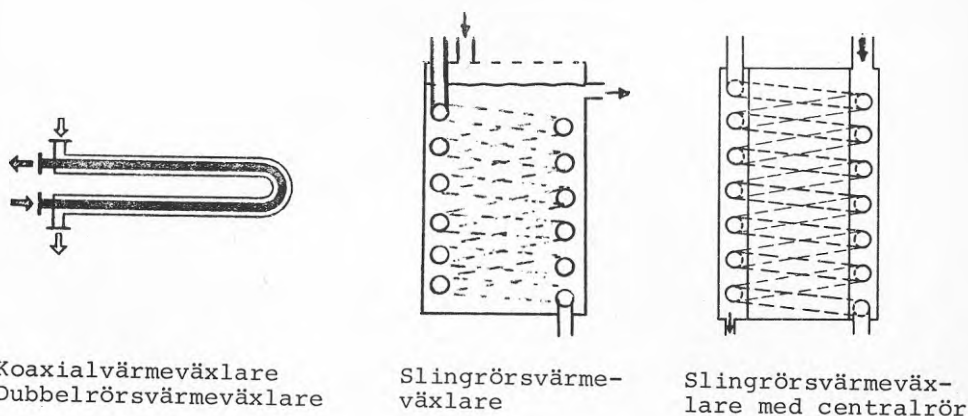


Fig 4.3 Värmeväxlartyper.

En annan enklare typ av värmeväxlare är slingrörsvärmeväxlaren. Denna kan bestå av en kylslinga nedsänkt i en öppen behållare genom vilken vattnet cirkulerar. Eftersom strömningshastigheten för vattnet är låg i denna apparat blir den inte så effektiv som koaxialvärmeväxlaren. Särskilt gäller detta när låga vattentemperaturer skall nås. Dess fördel är emellertid att den ej havererar vid fryshastighet.

Genom att placera en inre cylinder innanför rørslingan, se fig 4.3, kan vattenhastigheten ökas. Därmed förbättras värmeöverföringsegenskaperna. Samtidigt minskar dock tåligheten mot sönderfrysning.

4.2.3 Frysvakter

Värmeväxlaren måste skyddas både mot en tunn isbeläggning på värmeytan, vilken verkar isolerande och mot massiv igenfrysning av apparaten, eftersom denna kan sprängas sönder.

Den första förutsättningen är att vatten i tillräcklig mängd strömmar genom värmeväxlaren. För att indikera för lågt vattenflöde bör en flödesvakt finnas. Denna måste vara driftsäker. När vattenflödet är normalt kan den värmeöverförande ytan isbeläggas men värmeväxlaren kan inte frysa sönder.

Den enklaste skyddsutrustningen är en termostat på utgående vatten. Om man tolererar en lägsta temperatur av 2°C är inställningsintervallet mycket litet. Termostaten måste vara mycket exakt och den bör kalibreras regelbundet. Observera att en termostat inte ger något skydd vid uteblivet vattenflöde.

Om isbildning uppstår på värmeväxlarens ytor kommer värmeöverföringen att hindras kraftigt. Värmepumpens kompressor suger emellertid samma volym gas från värmeväxlarens kalla sida. Värmeväxlarens förmåga att förånga värmepumpens arbetsmedium minskar och trycket i förångaren sjunker. Om man placerar en lågtrycksvakt, en s k lågtryckspressostat, till kompressorns sug sida kan denna stoppa kompressorn innan isbildningen fortskridit alltför långt.

Gemensamt för dessa vakter är att de skall stoppa kompressorn men inte vattenpumpen. Om vattenflödet fortsätter kommer eventuell is att tina upp även om flödet är för litet eller för kallt för att driva värmepumpen. Vakterna kan förses med manuell eller automatisk återställning. Troligen är en automatisk återställning med tidsfördröjning att föredra.

4.2.4 Vattenkvaliteter och materialval

Det vanligaste materialet i värmeväxlarna är olika kopparlegeringar, främst beroende på dessas goda resistens mot de flesta vattentyper och kopparens goda bearbetningsegenskaper. Vissa leverantörer av värmepumpar kan rekommendera en lämplig legering. Också rostfria eller syrafasta material kan användas och levereras av några leverantörer mot tilläggskostnad.

En vattenanalys eller erfarenhet av det aktuella grundvattenet måste föreligga vid materialvalet, se kap 2.4.

De problem med kalkutfällning som är vanliga på varmvattenberedare bör bli av mindre omfattning i denna tillämpning p g a att kylning av vattnet sker istället för uppvärmning.

4.3 Värmepumpen

4.3.1 Kort beskrivning av värmepumpens princip

Värmepump är ett samlingsnamn för olika fysikaliska processer vilka syftar till att ta upp värme vid en låg temperaturnivå och sedan avge värmen vid en högre temperaturnivå. Om det endast är intressant att bortskaffa värme från den lägre temperaturnivån talar man om kylprocesser och kylmaskiner.

Den enda värmepumpprocess som för närvarande är av intresse i småhus är kompressorprocessen/kompressorvärmepumpen, fig 4.4. Processen är sluten, dvs arbetsmediet cirkulerar runt i en tät inneslutning under upptagande och avgivande av värme. Värmeupptaget sker så att arbetsmediet tillförs värme genom en värmeväxlare, förångaren. Värme tas upp som förångningsvärme utan temperaturförändring hos arbetsmediet, dvs mediet kokar. Den bildade gasen sugas in i en kompressor där gasens tryck höjs. Efter kompressorn leds gasen till en annan värmeväxlare, kondensorn. Eftersom gasens tryck nu är högre än i förångaren sker kondenseringen vid en högre temperatur än den vid vilken förångning och värmeupptag skedde. Vid kondenseringen avges dels det värme som togs upp i förångaren och dels värme motsvarande den elektriska energi som tillförts kompressorn.

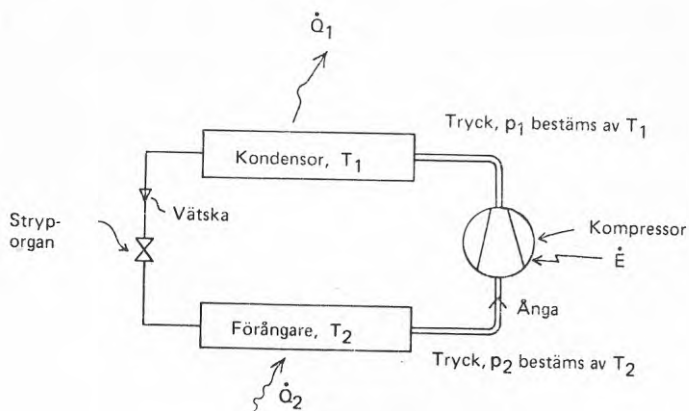


Fig 4.4 Princip för kompressorvärmepump.

Som arbetsmedier i värmepumpar för bostäder används uteslutande kol-halogenföreningar, eftersom de inte är giftiga. För att förenkla de komplicerade kemiska namnen har föreningarna tilldelats olika nummer med bokstaven R för refrigerant framför. Den vanligaste typen värmepumpar heter R22. Ibland används R12 om höga temperaturer skall uppnås. Kompressorn måste göras ca 30% större om R12 används.

Vissa kol-halogenföreningar kan ha mycket skadlig inverkan på atmosfärens övre skikt om de släpps ut. Därför begränsas användningen av dessa ämnen i sprayburkar o dyl. Redan priset på arbetsmedierna, särskilt R22, gör att det är mycket viktigt att systemen är täta.

4.3.2 Värmefaktor

Som ett godhetstal för processen definieras värmefaktorn (Eng: COP = Coefficient of Performance) som mängden avgiven värmeenergi dividerat med mängden tillförd elektrisk energi.

En liten temperaturskillnad mellan upptagen och avgiven värme ger en stor värmefaktor, dvs mindre energi måste tillföras i kompressorn.

Om värmefaktorn kallas ϕ och absoluta temperaturen T är temperaturen i grader Celsius +273 kan sambandet mellan förångningstemperatur T_2 , kondenseringstemperatur T_1 och värmefaktor skrivas:

$$\phi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad \text{eller som}$$

$$\phi = \frac{t_1 + 273}{t_1 - t_2} \quad \text{där } t_1 \text{ och } t_2 \text{ är kondensor respektive}$$

förångartemperatur i $^{\circ}\text{C}$. Dessvärre är det inte möjligt att uppnå detta i verkligheten, eftersom processen inte är idealisk. En verkningsgrad η kan definieras som

$$E = \eta \phi \quad \text{där } E \text{ är den verkliga värmefaktorn.}$$

Vanliga värden på η är 0,45 - 0,50 för väl utförda mindre värmepumpar (ca 10kW värmeeffekt).

Nedan ges fyra exempel på värmefaktorer vid olika förhållanden:

Exempel 1: En värmepump arbetar med grundvatten som värmekälla och värmer ett radiatorsystem. Framledningstemperaturen till radiatorerna måste vara 52°C vid den aktuella utetemperaturen. Förångningstemperaturen är ca 4 grader lägre än grundvattnets lägsta temperatur 2°C , alltså är $t_2 = -2^{\circ}\text{C}$. Kondenseringstemperaturen är 3 grader högre än radiatorvattnets högsta temperatur 52°C , alltså är $t_1 = 55^{\circ}\text{C}$. Eftersom temperaturskillnaden $55 - (-2) = 57$ är ganska stor antas att processens verkningsgrad är 0,45. Värmefaktorn blir då:

$$E = 0,45 \cdot \frac{273+55}{55-(-2)} = 2,6$$

Elförbrukningen är alltså 39% av behovet vid värmning med direkt el.

Exempel 2: En värmepump arbetar på samma sätt som i ex 1 men radiatortemperaturen kan begränsas till 42°C beroende på att radiatorytorna är större eller att utetemperaturen är högre. Eftersom kompressorn nu kan arbeta mot ett lägre tryck antas verkningsgraden öka till 0,50.

$$E = 0,50 \cdot \frac{273+45}{45-(-2)} = 3,4$$

Elförbrukningen till värmepumpen är endast 30% av behovet vid värmning med direkt el.

Exempel 3: En värmepump arbetar på samma sätt som i ex 1 men värmen avges till ett luftvärmesystem. Luften måste vara 29°C och temperaturskillnaden mellan luftens sluttemperatur och kondenseringstemperaturen är 3°C, t_1 är alltså 32°C. Verkningsgraden antas vara 0,50.

$$E = 0,5 \cdot \frac{273+32}{32-(-2)} = 4,5$$

Elförbrukningen är nu endast 22% av den som erfordras vid direkt elvärme.

Exempel 4: En värmepump arbetar på samma sätt som i exempel 1 men 6°C grundvatten tillförs värmepumpen som kyler vattnet till 4°C. Förångarens temperatur är 4 grader lägre än vattnets lägsta temperatur, alltså 0°C.

$$E = 0,45 \cdot \frac{273+55}{55-0} = 2,7$$

Elförbrukningen reducerades i detta fall endast från 39% i exempel 1 till 37% av elförbrukningen vid värmning med direkt el.

Exemplen ovan visar att den nödvändiga radiatorvattentemperaturen har en avgörande betydelse för systemets energiförbrukning. De förändringar som kan uppnås i grundvattentemperaturer är små och därmed har de också liten påverkan på systemets energiförbrukning.

Observera att elförbrukningen hos vattenpump och styrutrustning m m också skall inkluderas i systemets värmefaktor. Normala värden på värmefaktorn för hela året vid uppvärmning av småhus via radiatorsystem är ca 3.

4.3.3 Värmning av tappvarmvatten

Värme till tappvarmvatten får inte föras över direkt från arbetsmediet eftersom smörjolja från kompressorn då kan tränga in i varmvattensystemet vid läckage i värmeväxlaren. Värmen transporteras vanligen via radiatorvattnet till varmvattenberedaren. Nackdelen är att temperaturen på radiatorvattnet måste vara högre än den önskade varmvattentemperaturen.

En annan metod är att vattnet som värms i värmepumpen normalt inte passerar varmvattenberedaren. Vid behov kan hela vattenströmmen ledas genom varmvattenberedaren och radiatorsystemet kopplas bort under den tid varmvattnet värms. Naturligtvis kan också en separat värmepump installeras för tappvattenvärmning. Investeringskostnaden blir emellertid mycket hög vid enfamiljshushåll.

Om två varmvattenberedare seriekopplas kan förvärmning ske med radiatorvatten vars temperatur då helt styrs av uppvärmningsbehovet i byggnaden och slutvärmning sker med el i den andra varmvattenberedaren.

4.3.4 Effekt och energibehov i småhus

I mellansverige kan ett modernt välisolerat mindre småhus beräknas förbruka ca 20.000 kWh/år. Effektbehovet i ett sådant hus är ca 10 kW vid -20°C utetemperatur.

Ett äldre småhus av samma storlek men med sämre isolering och tätning kan t ex förbruka 30.000 kWh/år. Om en värmepumpeffekt av ca 10 kW installeras krävs troligen kompletteringsvärme vid låg utomhustemperatur. Det befintliga värmesystemet kan användas för detta ändamål.

Med hänsyn till bristen på servicepersonal bör någon reservvärmemöjlighet finnas. Denna kan utgöras av:

- Äldre befintligt värmesystem
- Elpatron i radiatorvärmekretsen
- Braskaminer o dyl

4.3.5 Styrning av värmepumpanläggningen

Förutom de vakter som nämnts i 4.1.4 och 4.2.3 skall en högtryckspressostat finnas för att hindra övertryck och onödigt kompressorslitage.

På kompressorer av denna storlek är för närvarande inga kontinuerliga reglersystem ekonomiska. Styrningen sker genom att kompressormotorn slås av och till. De temperaturer som kan användas som givare till styrutrustningen är:

- Framledningstemperaturen på radiatorvattnet
- Returtemperaturen på radiatorvattnet
- Rumtemperaturen
- Utomhustemperaturen

Reglercentraler finns tillgängliga som kan styra kompressor och vattenpump från en eller flera av dessa temperaturer.

4.3.6 Installation och service

Idag råder brist på montörer och tekniker som behärskar kylmediekretsen på en värmepump. Vid den mycket kraftiga ökning av värmepumpanvändningen som nyligen inletts finns det anledning att varna för alla system som kräver kyltekniskt kunnig personal. Enheterna skall lämna fabrikerna med provkörda värmepumpkretsar. För installationen skall endast krävas rörmontör alternativt brunnsborrhare och elektriker.

Servicebehovet för vattenpumpar och elutrustning skall inte skilja sig från andra användningsområden för dessa komponenter.

Servicebehovet för en väl utförd och väl installerad värmepump skall kunna jämföras med servicebehovet för kylskåp och frysboxar. Om värmepumpsystemet från början är behäftat med något fel kan detta vara svårt och dyrbart att finna för den tillgängliga personalen.

Slitaget på anläggningen är koncentrerat till kompressorn och vattenpumpen. Kompressorn kan normalt inte repareras. Ett byte kan totalt beräknas kosta ca 5.000 kr.

5. PRAKTISKA ERFARENHETER AV BRUNNAR I DRIFT

5.1 Allmänt

Värmeuttag från grundvattenbrunnar genom värmepumpning sker idag på minst några tiotal platser i landet.

Både uttagsbrunnar och recirkulationsbrunnar finns i drift. Någon brunn där sommaruppvärmning av berget sker har ej påträffats.

Uttagsbrunnar finns i grusåsar, i kristallint berg och i sedimentbergarter. Vid vissa uttagsbrunnar sker återinfiltration i intilliggande grundare brunnar.

Ett välinstrumenterat fall av energiuttag på uttag av grundvatten är Sydkrafts BFR-projekt i Höllviken där följande värmefaktorer uppnåtts i ett uppvärmningssystem i en enfamiljsvilla (enligt muntlig uppgift).

	<u>1978</u>	<u>1979</u>
Värmefaktor inkl cirkulationspumpar i värmesystemet	2,51	2,84
Värmefaktor värmepump kompressor	3,12	3,44

5.2 Recirkulationsbrunnar

Recirkulationsbrunnar finns som varit i drift ett par år. En brunn finns i Trollhättan där värmeuttag är kombinerat med uttag för renvattenförbrukning.

Två bergborrhålen i Tranås där cirkulationspumpning och värmeuttag skett sedan 1 okt 1979 har enligt uppgift från ägarna följande data och driftsegenskaper. Brunnarna ligger i ett villaområde inne i Tranås med kommunal vattenförsörjning. Borrhålen är placerade endast någon meter utanför källaren till villorna. Vatten uttages i en ca 10 m lång sugslang i borrhålets övre del och returneras till borrhålets botten.

Värmepumparna har konstruerats av ing. Glöckner i Mjölby. Förångare är placerade i slangarna i borrhålets övre del. Borrhålen är sannolikt borrhålen i Tranåsgranit.

Den ena brunnen ägs av brunnsborrhåren O. Rubensson, är 154 m djup och diametern är 112-115 mm. Berg påträffades på 1,3 m djup och grundvattenytan på 1,5 m djup under markytan. Brunnen gav litet vatten vid borrhålen. Hydraulisk uppspräckning med manschetter på 32 m ökade kapaciteten till 420 l/h. Uttagstemperaturen vid cirkulationspumpning har hela vintern legat över 4°C. Frysning har skett vid något tillfälle vid förångaren i borrhålets övre del på grund av läckage på sugpumpen. Upptining skedde efter avslag av värmepumpen. Elförbrukningen mellan 1/10 -79 och 18/2 -80 var 6 829 kWh för vattenpump och kompressor. Villaytan är ca 130 m².

./.

En temperaturmätning har skett 4-5 mars 1980 av SGU i de bägge brunnarna. Av fig 5.1. framgår att temperaturen i O. Rubenssons borrhål efter avstängning av värmepump stiger förhållandevis snabbt med tanke på att värmeuttag skett hela vintern från brunnen. Det lilla vattenuttaget som skedde efter avstängning av värmepumpen bedöms ej ha påverkat temperaturmätningen i allvarlig grad eftersom det motsvarar en liten energimängd och eftersom borrhålsvattnets temperatur fortsätter att stiga. Den låga temperaturen under värmepumpning i borrhålets översta del orsakas av förångaren och i borrhålets nedre del av returvattnet från värmepumpen.

Smärre temperaturdifferenser i mitten av borrhålet kan vara orsakade av kortare avbrott i mätningen. Den större temperaturhöjningen i botten och i borrhålets övre del efter värmepumpning är däremot att anse som pålitliga mätresultat.

Den andra brunnen är 151 m djup och ägs av E. Johansson. Diametern är 106 mm i botten. Djupet till berg är 6,75 m. Stålrör 130/140 mm går ner till 8,5 m. Hydraulisk uppspräckning har skett och brunnens kapacitet är 840 l/h.

Värmeuttag från brunnen har skett sedan 1 okt 1979. Huset har en yta av 210-240m² och är en äldre tillbyggd villa. Lägsta uttagstemperaturen ur brunnen har legat några tiondels grader över 4°C vid stickprovsmätningar. Vid SGU:s mätning den 5 mars 12 tim efter avstängning av värmepump låg temperaturen på ca 5,7°C fig 5.2.

Vintern 79/80 var kallare än normalt i Tranåsområdet. Temperaturmätningar av SMHI sker dock ej i Tranås. Vid SMHI:s närmaste station Malexander uppmättes följande temperaturer

	dec 79	jan 80	febr 80
Månadsmedeltemperatur	-1,0°C	-4,7°C	-7,0°C
Avvikelse mot normalt	-0,7°C	-1,3°C	-3,2°C

Låga dygnsmedeltemperaturer noterades den 28 jan - 15,6°C och den 9 febr - 15,4°C.

Elförbrukningen mellan 2/10 -79 - 10/4 -80 var ca 9 800 kWh för vattenpump och kompressor. Under denna tid har uppvärmning skett med olja 20/2 - 27/2 p.g.a. pumpbyte och vid vissa injusterings- och mätningstillfällen. Total oljeförbrukning sedan 2/10 har angivits till ca 300 l.

5.3 Jämförelse mellan uttagna och teoretiskt beräk- nade, maximala effekter

Rubenssons_brunn

Uppmätt elförbrukning för kompressor och pump är 6.829 kWh under ca 3.300 timmar. Om 1.000 kWh antages hänföra sig till pumpen har kompressorn under perioden utvecklat en medeleffekt på ca 1,8 kW. Med hänsyn till minimitemperaturer under perioden på ca -15°C jämfört med en motsvarande medeltemperatur kan antas en maximalt uttagen kompressoreffekt på ca 3,5 kW.

Med en värmefaktor på 3 innebär dessa antaganden för borrhålet att en medeleffekt på ca 3,6 kW (24 W/m) uttagits under en period på 4,5 månader och att en effekttopp på ca 5-6 kW kan ha uttagits under ett dygn.

Johanssons_brunn

En motsvarande beräkning indikerar även för denna brunn en under 6 månader ur borrhålet uttagen medeleffekt på ca 3,6 kW (24 W/m) och en maximal effekt på ca 6 kW.

Dessa värden kan jämföras med t ex de som teoretiskt beräknats i kap 3.2.4. I fig 3.11 kan utläsas att en medeleffekt på 24 W/m knappast är möjlig under sex månader, eftersom detta skulle kräva en medeltemperatur i borrhålet på endast +1°C.

De teoretiska beräkningarna bygger dock på att all värmetransport sker via ledning i berget och försummar således den positiva inverkan från en eventuell grundvattenström mot borrhålet.

En närmare analys av avvikelserna har dock inte bedömts meningsfull, eftersom data från brunnarna icke registrerats i utredningssyfte och därför ej heller är av erforderlig noggrannhet och omfattning.

Temperaturmätning av SGU i O. Rubenssons brunn
Ängsvägen 5 Tranås mars 1980.

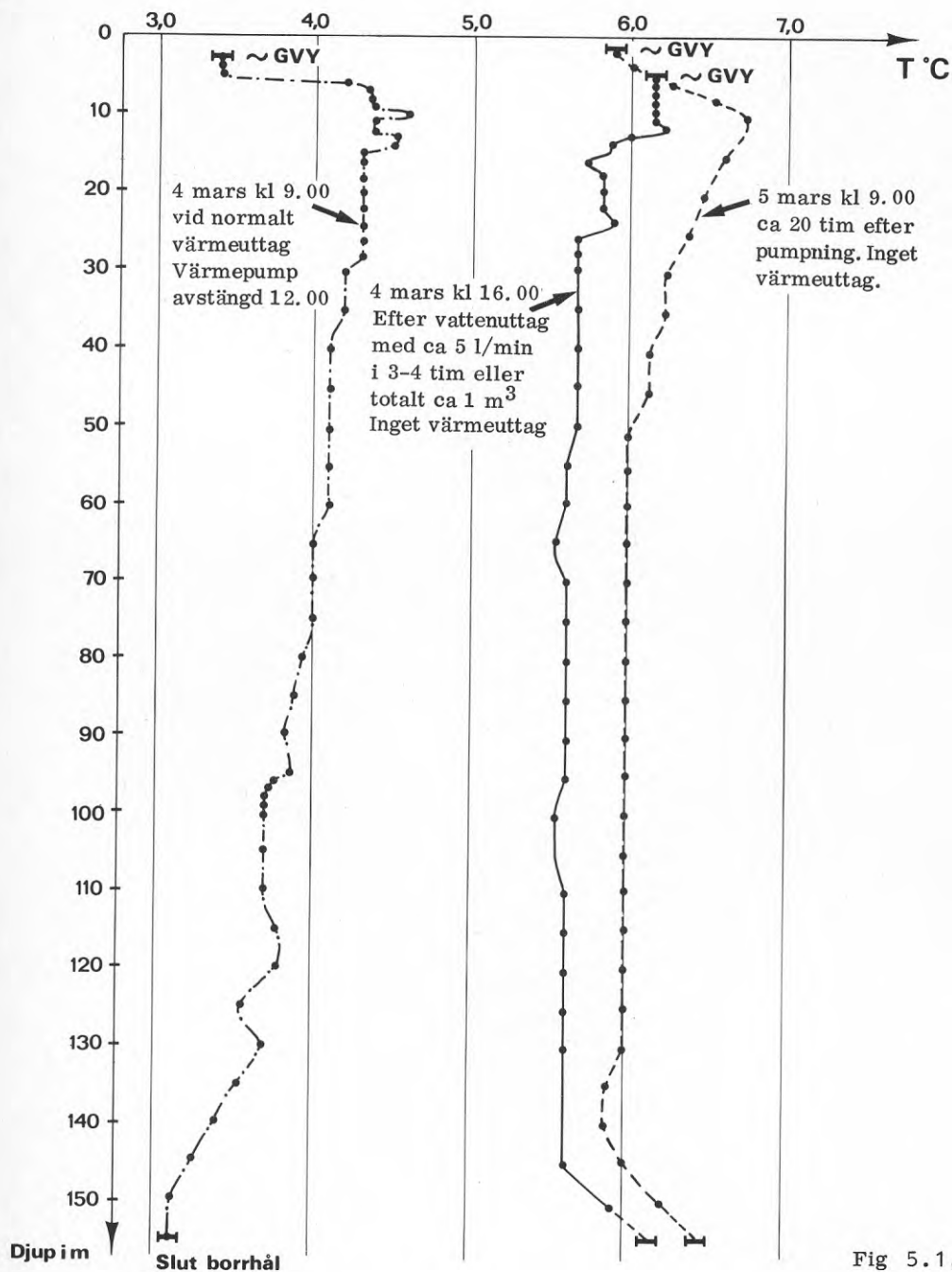


Fig 5.1.

Temperaturmätning av SGU i E. Johanssons brunn
Brännavägen 10 Tranås den 5 mars 1980 kl 10.00
ca 12 tim efter avstängning av värmepump.

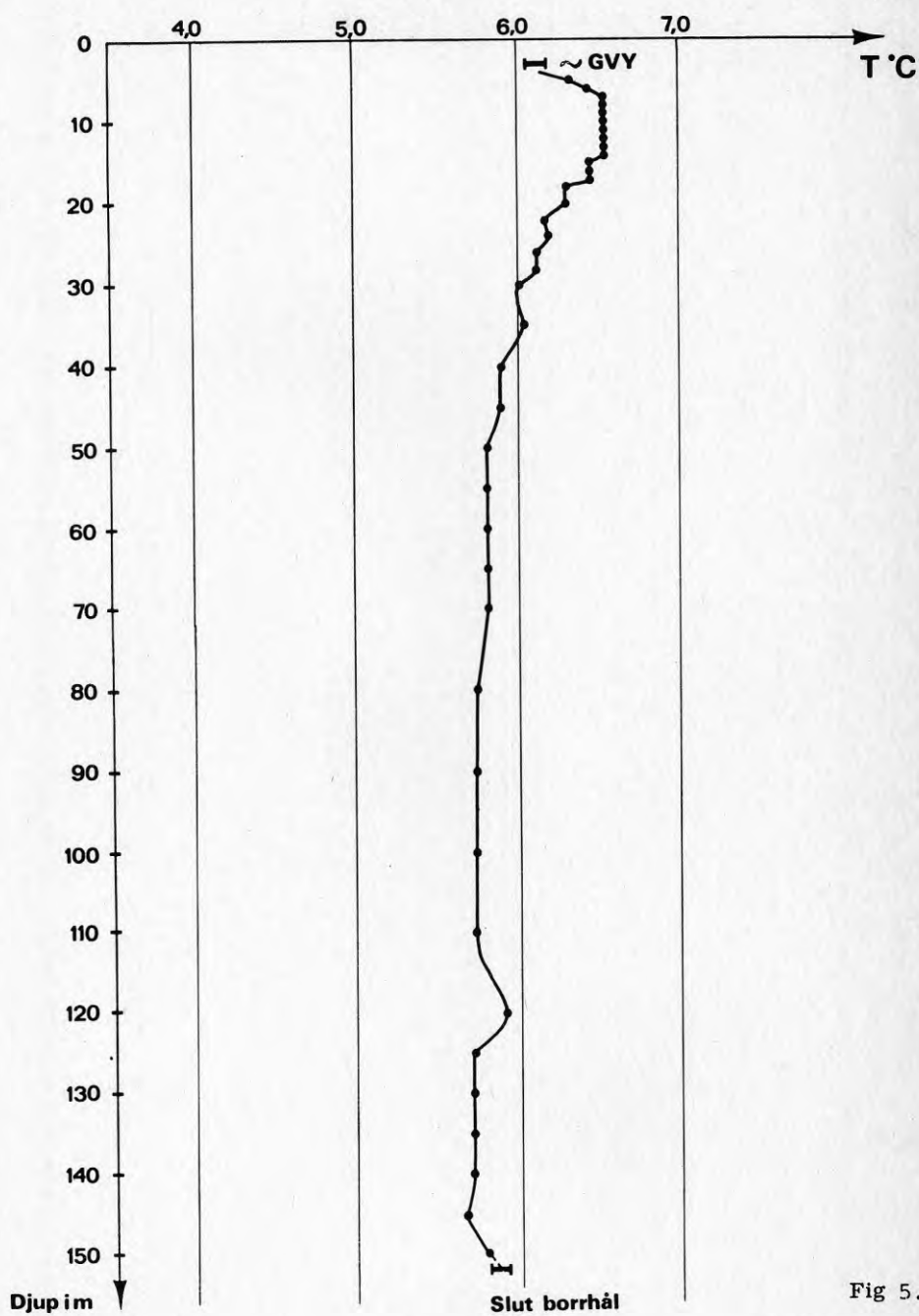


Fig 5.2.

6. EKONOMI

6.1 Energiförbrukning

Energiförbrukningen för tre typer av småhus redovisas nedan under tre olika förutsättningar.

<u>Fall</u>		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
Småhustyp		Väl isolerat <150 m ²	Mindre väl isolerat <150 m ²	Mindre väl isolerat >150 m ²
Totalt energibehov	kWh/år	20.000	30.000	40.000
-reservenergi 5%	kWh/år	1.000	1.500	2.000
-stödenenergi* 10%	kWh/år	-	3.000	4.000
-värmepump	kWh/år	19.000	25.500	34.000
Värmeeffekt värmep	kW	9	9	12
Drifttid	h/år	2.100	2.800	3.000

Exempel 1:

Värmefaktor		3,0	3,0	3,0
Grundvattentemp	°C	—————	in 4, ut 2	—————
Kompressoreffekt	kW	3,0	3,0	4,0
Pumpeffekt	kW	0,24	0,24	0,30
Summa eleffekt	kW	3,24	3,24	4,30
Energi till värmepumpsystemet	kWh/år	6.800	9.100	12.900
Total värmefaktor		2,8	2,8	2,8

Exempel 2:

Värmefaktor		3,3	3,3	3,3
Grundvattentemp	°C	—————	in 4, ut 2	—————
Kompressoreffekt	kW	2,72	2,72	3,63
Pumpeffekt	kW	0,24	0,24	0,30
Summa eleffekt	kW	3,0	3,0	3,9
Energi till värmepumpsystemet	kWh/år	6.300	8.400	11.700
Total värmefaktor		3,0	3,0	3,0

* Stödenenergi erfordras om brunnen eller värmepumpen inte alltid ger erforderlig effekt, se kap 2.

Exempel 3:

Värmefaktor		3,3	3,3	3,3
Grundvattentemp	°C	—	in 3, ut 2	—
Kompressoreffekt	kW	2,72	2,72	3,63
Pumpeffekt	kW	0,48	0,48	0,60
Summa eleffekt	kW	3,2	3,2	4,2
Energi till värmepumpsystemet	kWh/år	6.700	9.000	12.600
Total värmefaktor		2,8	2,8	2,8

6.2 Investeringsbehov och årliga kostnader

För de tre olika hustyperna som redovisats i 4.4.1 har investeringsbehovet uppskattats och årskostnaden beräknats under de förutsättningar som anges i tabellerna. Data är hämtade från tidigare avsnitt i detta kapitel. Vidare antas att amorteringar på lån kan ske på samma tid som den beräknade avskrivningstiden. Detta kräver att viss del av lånebeloppet måste vara långfristigt.

Värmepumpen förutsätts vara försedd med en elpatron för reserv- och stödenergi.

Fall 1. Nybyggt småhus mindre än 150 m², årligt energibehov
20.000 kWh.

Arskostnad,kr

a) Värmepumpsystem enligt ex 2 ovan:

Investering:

Brunn, 100 m djup, 15.000 kr	
avskrivningstid 30 år	500
Värmepump med grundvattenpump, 35.000-3.000 kr	
(bidrag)=32.000, avskrivningstid 15 år	2.130
Radiatorsystem, 15.000 kr	
avskrivningstid 30 år	500

Statligt bidrag, 3.000 kr	
Statligt lån, 21.000 kr, 11% ränta, 55% skatt	1.040
Annat lån, 41.000 kr, 16% ränta, 55% skatt	2.950
Summa 65.000 kr	7.100

Driftkostnader:

Elektricitet, 1.000 + 6.300 = 7.300 kWh	
å 0,22 kr	1.600
Service	1.000
Summa	2.600

Summa kostnad år 1 9.700 kr

b) Oljepanna

Investering

Oljepanna med tank, 15.000 kr	
avskrivningstid 15 år	1.000
Radiatorsystem, 15.000 kr	
avskrivningstid 30 år	500
Lån, 30.000 kr, 16% ränta, 57% skatt	2.060
Summa	3.560

Driftkostnader:

Olja, 20.000 kWh / (0,7 · 10.000 kWh/m ³ = 2,9 m ³)	
70% verkningsgrad, 1.400 kr/m ³ , 10 MWh/m ³	4.000
Service, sotning	700
Summa	4.700
Summa kostnad år 1	8.300 kr

Årskostnad,kr

c) Direktverkande el

Investering:Elradiatorer och varmvattenberedare,
10.000 kr

avskrivningstid 20 år

500

Lån, 10.000 kr, 16% ränta, 60% skatt

640

Summa

1.140

Driftkostnader:

20.000 kWh à 0,22 kr

4.400

Service

200

Summa

4.600

Summa kostnad år 1

5.700

Fall 2. Äldre småhus mindre än 150 m^2 , årligt energibehov 30.000 kWh, oljepanna som måste bytas, radiator-systemet i gott skick.

Årskostnad, kr

a) Värmepumpsystem enligt ex 2 ovan:

Investering:

Brunn, 100 m djup, 15.000 kr avskrivningstid 30 år	500
Värmepump med grundvattenpump, 35.000-3.000 kr (bidrag) = 32.000 kr avskrivningstid 15 år	2.130
Radiatorsystemet är befintligt	0
Statligt bidrag, 3.000 kr	
Statligt lån, 21.000 kr, 11% ränta, 60% skatt	920
Annat lån, <u>26.000</u> kr, 16% ränta, 60% skatt	<u>1.660</u>
Summa 50.000 kr	5.210

Driftkostnader:

El till värmepump, 8.400 kWh à 0,22 kr	1.850
El till elpatron, 4.500 kWh à 0,22 kr	990
Service värmepump	<u>1.000</u>
Summa	3.840

Summa kostnad år 1 9.100

b) Oljepanna

Investering:

Ny panna och tank, 15.000 kr avskrivningstid 15 år	1.000
Lån, 15.000 kr, 16% ränta, 57% skatt	<u>1.030</u>
Summa	2.030

Driftkostnader:

Olja, 30.000 kWh, 70% verkningsgrad, 10.000 MWh/m^3 , 1.400 kr/m^3 $30.000 / (0,7 \cdot 10.000) \cdot 1.400 =$	6.000
Service, sotning	<u>700</u>
Summa	6.700

Summa kostnad år 1 8.700

Årskostnad,kr

c) Direktverkande el

Investering:

Elpatron i radiatorsystem och elektrisk
varmvattenberedare, 5.000 kr
avskrivningstid 15 år

330

Lån, 5.000 kr, 16% ränta, 65% skatt

520

Summa

850Driftkostnader:

El, 30.000 kWh à 0,22 kr

6.600

Service

400

Summa

7.000

Summa kostnad år 1

7.900

Fall 3. Äldre småhus större än 150 m^2 , årligt energibehov 40.000 kWh, oljepanna som måste bytas, radiator-systemet i gott skick.

Årskostnad, kr

a) Värmepumpsystem enligt ex 2 ovan:

Investering:

Brunn, 150 m djup, 20.000 kr avskrivningstid 30 år	660
Värmepump med grundvattenpump, 40.000-3.000 kr (bidrag) = 37.000 kr avskrivningstid 15 år	2.470
Radiatorsystem befintligt	0
Statligt bidrag, 3.000 kr	
Statligt lån, 21.000 kr, 11% ränta, 60% skatt	920
Annat lån, <u>36.000</u> kr, 16% ränta, 60% skatt	<u>2.300</u>
Summa 60.000 kr	6.350

Driftkostnader:

El till värmepump, 11.700 kWh à 0,22 kr	2.570
El till värmepatron, 6.000 kWh à 0,22 kr	1.320
Service värmepump	<u>1.000</u>
Summa	4.890

Summa kostnad år 1 11.200

b) Oljepanna

Investering:

Ny panna och tank, 15.000 kr avskrivningstid 15 år	1.000
Lån, 15.000 kr, 16% ränta, 57% skatt	<u>1.030</u>
Summa	2.030

Driftkostnader:

Olja, 70% verkningsgrad, 10.000 kWh/m^3 , 1.400 kr/m^3 , 40.000 kWh $40.000 / (0,7 \cdot 10.000) \cdot 1.400 =$	8.000
Service, sotning	<u>700</u>
Summa	8.700

Summa kostnad år 1 10.700

Årskostnad, kr

c) Direktverkande el

Investering:

Elpatron i radiatorsystem och elektrisk varmvattenberedare, 5.000 kr avskrivningstid 15 år	330
Lån, 5.000 kr, 16% ränta, 65% skatt	520
Summa	850

Driftkostnader:

El, 40.000 kWh à 0,22 kr	8.800
Service	400
Summa	9.200

Summa kostnad år 1 10.000

Resultaten sammanställs i tabell 4.3.

Fall (byggnad)	1	2	3
Värmepump	9.700 (16)	9.100 (31)	11.200 (35)
Olja	8.300 (48)	8.700 (69)	10.700 (75)
El	5.700 (77)	7.900 (83)	10.000 (88)

Tabell 6.1 Utlägg för olika system under första året enligt ovanstående antaganden. Inom parentes anges procentandelen energikostnad.

Den årliga kostnaden sjunker med åren när lånen amorteras och inflationen minskar beloppens realvärde.

För det enskilda fallet bör särskild kalkyl upprättas. De uppgifter som redovisas här kan då tjäna som utgångsvärden.

För en samhällsekonomisk utvärdering kan en realränta av 3% ansättas och den årliga kostnaden på lång sikt beräknas utan skattehänsyn. Avskrivningstiderna är desamma som vid beräkningen av första årets kostnader. Tabell 4.4 och 4.5 visar årskostnader beräknade enligt annuitetsmetoden.

Fall (byggnad)	1	2	3
Värmepump	6.800 (24)	7.400 (39)	9.000 (43)
Olja	6.700 (60)	8.000 (75)	10.000 (80)
El	5.300 (83)	7.400 (89)	9.600 (92)

Tabell 6.2 Årskostnad för olika system i tre byggnader vid 3% realränta. Inom parentes anges procentandelen energikostnad.

Vid stigande energipriser påverkas systemen mycket olika. Tabell 4.5 visar årskostnaden om både el- och oljepriset stiger med 50%.

Fall (byggnad)	1	2	3
Värmepump	7.600	8.800	11.700
Olja	8.700	11.000	14.000
El	7.500	10.700	13.500

Tabell 6.3 Årskostnad för olika system i tre olika byggnader. Elpris 33 öre/kWh, oljepris 2.100 kr/m³, realränta 3%.

6.3 Lönsamhetsaspekter

Ovan har kalkyler för tre byggnader upprättats. Slutsatserna kan sammanfattas i följande punkter:

- En investering i värmepump medför att känsligheten för energiprisförändringar minskar mycket kraftigt. Däremot ökar känsligheten för ändringar i ränte- och skattepolitik.
- Om det finns möjlighet att anlägga en grundvattenvärmepump är en nyinvestering i en oljeanläggning tveksam med hänsyn till förväntade el- och oljepriser.
- Vid ett nybygge (fall 1) torde värmepumpen vara intressant för byggnader vars värmebehov överstiger ca 30.000 kWh/år.

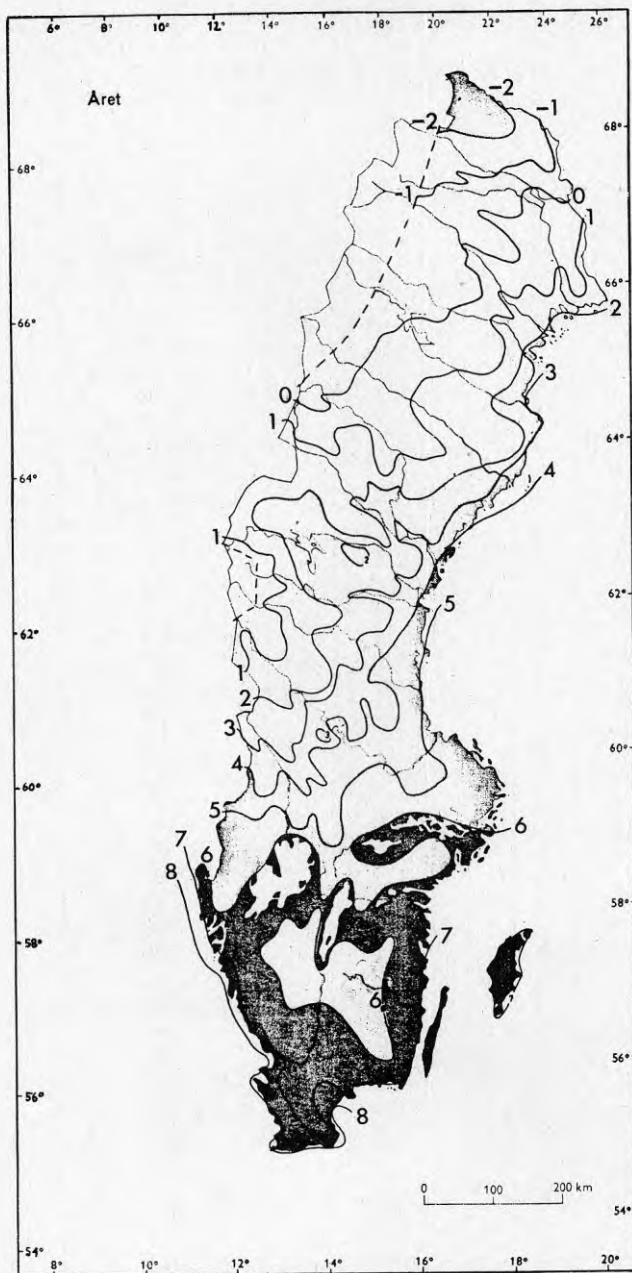
Ett flertal faktorer kan öka värmepumpalternativets lönsamhet:

- En användbar brunn finns redan.
- Kostnaden för brunnen delas med vattenförsörjningen.
- Värmepumparnas pris sjunker när marknaden utvecklats.
- Användning av direkt el förbjuds.
- Förbättrade lånevillkor.
- Brunnens och/eller värmepumpens kapacitet och tillgänglighet ökar så att behovet av stöd- och reservenergi minskar.

Litteratur

- 1 Bjelm, L. et al. Geotermisk energiutvinning i Skåne. Nämnden för energiproduktionsforskning. Projekt no. 60 040. Stockholm 1977
- 2 Dahlblom, Th 1938. The increase of the temperature downward in the crust of rocks. Z. Geophysics 14 131-142
- 3 Eriksson K-G o Malmqvist D "A review of the past and the present investigations of heat flow in Sweden" från Terrestrial heat flow in Europe. V Cermák and L Ryback. Springer Verlag 1979.
- 4 Hasselström, A. Temperaturmätningar inom svenska gruvfält och i samband därmed bestämningar av värmeledningsförmågan hos malmer och sidobergarter från samma gruvfält. STU-rapport-507/U 407 Gs/Aa. Stockholm 1972
- 5 Jacks, G. Ground water chemistry at depth in granites and gneisses. KTH, april 1978. KBS teknisk rapport 88
- 6 Johnson, J 1980. Naturliga variationer hos grundvattnets temperatur i svenska friktionsjorðar. Vannet i Norden nr 1 1980
- 7 Landström, O. et al. Geothermal investigations in the Bohus granite area in Sweden. Department of Geology, Chalmers University of Technology/ University of Gothenburg, Tectonophysics (1979), in manuscript
- 8 Landström et al. 1979. Värmeflöde i berg. LTH Geologiska institutionen. Publikation K 137
- 9 Landström, O 1980. Studsvik Energiteknik KI/4 -80/10 Arbetsrapport 1980-01-31
- 10 Lindblom, U. Geotermisk energi, Centrala driftledningen. CDL, Publ. No 5/1975. Stockholm 1975.
- 11 Meier O och Sund B 1952. Geologins betydelse vid vattenbörning i Sverige. Vattenhygien 8 1-11
- 12 Nordenström, G 1877. Om värmegradens tilltagande mot djupet i några svenska grufvor. Geol. Föreningen Stockholm Förh. 3 421-435
- 13 Parasnis, D.S. Estimates of in situ thermal diffusivity of the ore-bearing rocks in some drillholes in the Skellefte field (N. Sweden) using the annual temperature wave. J. Geophysics 40, 83-95 (1973)

- 14 Parasnis, DS. Temperature phenomena and heat flow estimates in two Precambrian ore-bearing areas in North Sweden. Geoph. J.R. Astr. Soc. 43, 631-654 (1975)
- 15 Rennerfelt, J 1977. Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk berggrund. KBS-teknisk rapport 36
- 16 SGU 1977. Grundvattentillgångar i Sverige
- 17 Uusinoka, R 1975. A study of the composition of rock-gouge in fractures of Finnish Precambrian bedrock. Commentationes Physici-Mathematicae. Vol. nr 1 Helsinki 101 pp
- 18 Wenner, CG, Möller, Å, Kjellin, B (1974). Vattnets beskaffenhet i svenska brunnar. Vatten vol 30 pp 370-389
- 19 Wenner, CG 1951. Grundvattenförhållanden i södra Sveriges berggrund. Teknisk Tidskrift 81 1101-1103



Lufttemperatur, °C normaltemperatur för året perioden 1931-1960.
Klimatdata för Sverige, Roger Taesler 1972

Bilaga 1

Medeltemperatur av jordtemperaturen under året beräknad av AIB med hjälp av medelvärden för jordtemperaturen den 15:de varje månad för perioden 1961 - 70 enligt uppgifter från SMHI.

		<u>°C</u>			<u>°C</u>
<u>Riksgränsen</u>	50 cm	+2,6	<u>Mossen</u>		
<u>Lappland</u>	100 cm	+2,7	<u>Öland</u>	20 cm	+7,3
				50 cm	+7,3
<u>Abisko</u>	5 cm	+0,5	<u>Sandjord</u>	100 cm	+7,2
<u>Lappland</u>	20 cm	+1,3			
	50 cm	+1,6	<u>Svanlöv</u>	5 cm	+6,3
<u>Pinmno</u>	100 cm	+1,6	<u>Skåne</u>	20 cm	+7,2
				50 cm	+8,5
<u>Luleå</u>			<u>Styv lera</u>	100 cm	+8,5
<u>Norrbottnen</u>	20 cm	+2,5			
	50 cm	+3,5	<u>Alnarp</u>		
<u>Pinmno</u>	100 cm	+4,0	<u>Skåne</u>	20 cm	+8,3
				50 cm	+8,6
<u>Nyckelby</u>			<u>Mull, lera</u>	100 cm	+8,4
<u>Uppland</u>	20 cm	+6,2			
	50 cm	+6,5			
<u>Lerjord</u>	100 cm	+6,7			
<u>Dingle</u>					
<u>Bohuslän</u>	50 cm	+6,5			
	100 cm	+6,8			
<u>Grusblandad</u>					
<u>Lera</u>					
<u>Tornby</u>					
<u>Östergötland</u>	20 cm	+6,1			
	50 cm	+6,6			
<u>Lera</u>	100 cm	+6,9			
<u>Skara</u>					
<u>Västergötland</u>	20 cm	+6,5			
	50 cm	+7,1			
<u>Lera</u>	100 cm	+7,1			
<u>Lanna</u>					
<u>Västergötland</u>	20 cm	+5,4			
	50 cm	+6,1			
<u>Styv lera</u>	100 cm	+6,4			
<u>Flahult 1</u>	20 cm	+5,6			
<u>Småland</u>	50 cm	+6,1			
	100 cm	+6,1			
<u>Vit mosse-</u>					
<u>jord</u>					
<u>Flahult 2</u>	20 cm	+5,8			
<u>Småland</u>	50 cm	+5,9			
<u>Sandjord</u>	100 cm	+6,0			

Inventering av temperaturmätningar i den svenska berggrunden

Pattok, Norrbottens län
Lappmalmen, Norrbottens län
Studsvik, Södermanlands län
Götemar, Kalmar län
Malingsbo, Örebro län
Bohuslän, Göteborg o Bohus län
Kristianstad, Kristianstads län
Landskrona, Malmöhus län
Malmö, Malmöhus län
Ystad-Trelleborg, Malmöhus län
Stråssa
Zinkgruvan
Blötberget
Risbergsfältet
Renströmsgruvan
Finnsjön, Uppsala län
Sternö, Blekinge län
Vassbotrakten, Kopparbergs län
Skelleftefältet, Norrbottens län
Aitik, Norrbottens län

Beräkning av temperaturer på 100, 150 och 200 m vertikalt djup i °C enligt utvärdering av temperaturen från figurer på 0,1 grad när.

Pattok, Norrbottens län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>150 m</u>	<u>200 m</u>	<u>Anm</u>
69402	2,8	3,3		
68405	2,8	3,3	3,9	
69403	2,8			
69407	2,9			
68403	2,8	3,2		
68404	2,6	2,7	3,1	Kallt borrhål
69406	2,8			
68401	2,8	3,2		
68402	2,6	2,9		Kallt borrhål
67407	2,8			
67405	2,8	3,4		
Medelvärde	2,8	3,1	3,5	
Variationsområde	2,6-2,9	2,7-3,3	3,1-3,9	

Från A Hasselström 1972. Temperaturmätningar i djupborrhål.

Lappmalmen, Norrbottens län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>150 m</u>	<u>200 m</u>	
Fig 19	5,1	5,5	5,7	
Fig 19	3,4	3,6	3,8	(stört av vatten)
Fig 19 DBH 1130	3,7	4,2	4,6	
DBH 373	4,3	4,8	5,4	
DBH 1180	4,2	4,4	4,7	
DBH 1229	4,3	4,7	5,1	
DBH 641	4,3	4,6	4,8	
DBH 1179	4,1	4,6	5,2	
DBH 1284	3,8	4,4	5,0	
DBH 1159	4,5	5,0	5,5	
DBH 637	4,4	4,7	5,2	
Medelvärde	4,2	4,6	5,0	
Variationsområde	3,4-5,1	3,6-5,5	3,8-5,7	

Från A Hasselström 1972. Temperaturmätningar i djupborrhål.

Studsvik, Södermanlands län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>
B1N	7,1
B2N	7,2
B3N	7,2
B4N	7,3
B5N	7,3
B6N	7,3
B7N	7,3
B8N	7,3
Medelvärde	7,3
Variationsområde	7,1-7,3

Från O Landström, Studsvik Energiteknik K1/4-80/10. Arbetsrapport 1980-01-31.

Götemargranit, Kalmar län

<u>Borrhål</u>	<u>100 m</u>	<u>150 m</u>	<u>200 m</u>	
K1	9,3	9,8	10,5	
K2	9,0	9,1	9,4	stört av vatten
Medelvärde	9,2	9,5	10,0	
Variationsområde	9,0-9,3	9,1-9,8	9,4-10,5	

Från K-Å Magnusson. Bergmekanikmöte BeFo 1979.

Malingsboområdet, Örebro län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>150 m</u>
2	7,2	
4	7,5	8,4
5	7,3	
6	7,2	
8	6,6	7,5
10	6,7	7,4
Medelvärde	7,1	7,8
Variationsområde	6,6-7,5	7,4-8,4

Från O Landström et al. Värmefflöde i berg. CTH Geol.inst. Publ B137, 1979.

Bohuslän, Göteborgs och Bohus län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>150 m</u>
Mätställe 1	9,0	
Mätställe 6	9,3	
Mätställe 7	9,2	
Mätställe 8	8,9	
Mätställe 13	8,2	(på gränsen till gnejsområdet)
Borrhål 9 (Stattraff)	9,1	
Medelvärde	9,0	

Variationsområde 8,2-9,3

Från O Landström et al. Lokalisering och bedömning av geotermiska energimagasin i kristallin berggrund. CTH Geol.inst. Publ B104, 1978.

Kristianstadsområdet, Kristianstads län

<u>Fig</u>	<u>100 m</u>
3C	10,9
3C	8,8
3C	8,8
3C	8,7
3C	9,0
3C	11,5
3C	8,1
Medelvärde	9,4
Variationsområde	8,1-11,5

Landskrona, Malmöhus län

<u>Fig</u>	<u>100 m</u>
3C	11,0
3C	10,0
3C	10,8
3C	10,8
3C	10,2
Medelvärde	10,6
Variationsområde	10,2-11,0

Malmö, Malmöhus län

<u>Fig</u>	<u>100 m</u>
3C	10,6
3C	10,3
3C	11,0
3C	11,2
Medelvärde	10,8
Variationsområde	10,3-11,2
Malmö Landskrona medelvärde	10,7

Ystad - Trelleborg, Malmöhus län

<u>Fig</u>	<u>100 m</u>
3C	11,3
3C	10,7
3C	10,4
3C	11,6
3C	9,2
3C	11,0
3C	10,1
Medelvärde	10,6
Variationsområde	9,2-11,6

Från L Bjelm et al. Geotermisk energiutvinning i Skåne. Slutrapport etapp 2 och 3, jan 1979. NE, LUTVDG/(TVGL-3003)/1-95/ (1979)

Z	Stråssa			Zinkgruvan				
	Temp	N	Interval	S.D.	Temp	N	Interval	S.D.
100	-	-	-		7.40	5	7.30-7.57	0.12
150	-	-	-		7.98	1	-	-
200	-	-	-		8.77	5	8.63-8.97	0.13
250	-	-	-		9.53	2	9.49-9.57	0.11
256	8.55	7	8.19-9.02	0.26	-	-	-	-
300	9.26	9	9.02-9.60	0.23	-	-	-	-
350	10.17	5	10.03-10.26	0.11	10.96	6	10.94-10.99	0.02
400	10.94	5	10.84-11.07	0.10	11.45	2	11.36-11.53	0.12
450	11.92	4	11.82-12.08	0.13	12.56	2	12.53-12.60	0.05
500	12.89	3	12.70-13.09	0.20	13.25	2	13.22-13.29	0.05
550	13.76	2	13.52-13.99	0.33	14.07	3	14.06-14.08	0.01
600	-	-	-	-	14.88	2	14.86-14.90	-
650	-	-	-	-	-	-	-	-
700	15.96	1	-	-	-	-	-	-
750	16.70	1	-	-	-	-	-	-

Measured temperatures at the mining fields at Stråssa and Zinkgruvan

Tabellvärden erhållna från D Malmqvist.

Risbergsfältet Blötterget

Z	Temp	N	Interval	S.D.	Temp	N	Interval	S.D.	Temp	N	Interval	S.D.
50	5.65	2	5.46-5.83	± 0.42	5.18	2	4.92-5.43	± 0.50	5.41	4	4.92-5.83	± 0.37
100	6.20	2	6.18-6.23	0.18	5.85	2	5.60-5.99	0.38	6.03	4	5.70-6.23	0.24
150	7.14	1	-	-	6.99	2	6.77-7.20	0.46	7.04	3	6.77-7.20	0.23
160	7.28	1	-	-	6.68	7	6.27-7.38	0.43	6.75	8	6.17-7.38	0.45
200	7.92	1	-	-	7.44	10	6.95-8.10	0.41	7.48	11	6.95-8.10	0.42
250	8.74	1	-	-	8.65	2	8.30-9.00	0.59	8.68	3	8.30-9.00	0.35
280	9.24	1	-	-	9.21	28	8.57-9.60	0.29	9.21	29	8.57-9.60	0.28
300	9.59	1	-	-	9.55	2	9.21-9.90	0.59	9.56	3	9.21-9.90	0.35
310	9.13	7	8.62-9.76	0.44	9.74	2	9.38-10.09	0.59	9.26	9	8.62-10.09	0.48
350	-	-	-	-	10.82	2	10.88-10.85	0.21	10.82	2	10.78-10.85	0.21
400	-	-	-	-	11.99	4	11.72-12.58	0.40	11.99	4	11.72-12.58	0.40
410	11.11	17	10.52-11.55	0.28	12.15	4	11.90-12.68	0.36	11.31	21	10.52-12.68	0.50
450	12.56	1	-	-	12.78	4	12.61-13.00	0.18	12.74	5	12.56-13.00	0.18
500	13.53	1	-	-	13.54	4	13.32-13.78	0.19	13.54	5	13.32-13.78	0.16
550	14.43	2	14.36-14.50	0.27	14.52	3	14.42-14.73	0.14	14.48	5	14.36-14.73	0.15
600	15.05	2	14.99-15.11	0.25	15.48	2	15.30-15.66	0.43	15.26	4	14.99-15.26	0.29
650	15.47	1	-	-	16.59	1	-	-	16.03	2	15.47-16.59	0.75
700	16.15	1	-	-	17.32	1	-	-	16.74	2	16.15-17.32	0.76
750					18.33	1	-	-	18.33	1	-	-
800					19.24	1	-	-	19.24	1	-	-
850					20.10	1	-	-	20.10	1	-	-

Measured temperatures at the mining fields at Risbergsfältet and Blötterget

Blötterget 850-300 19.2) 19.5
600-300 19.8

Tabellvärden erhållna från D Malmqvist.

Z	Measured 1950				Measured 1968				Measured 1972			
	Temp	N	Interval	S.D.	Temp	N	Interval	S.D.	Temp	N	Interval	S.D.
50	3.70	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	4.31	4	4.20-4.40	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
150	4.57	1	-	-	(4.29	2	4.26-4.32	0.04)	-	-	-	-
200	5.06	20	4.91-5.21	0.09	4.96	1	-	-	-	-	-	-
250	5.56	8	5.52-5.60	0.03	5.65	3	5.55-5.75	0.10	-	-	-	-
300	6.07	7	6.04-6.09	0.02	6.21	3	6.18-6.25	0.04	-	-	-	-
350	6.60	6	6.58-6.62	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
400	7.08	11	7.03-7.10	0.02	7.20	11	7.09-7.33	0.08	-	-	-	-
450	7.68	10	7.65-7.80	0.05	7.79	6	7.74-7.88	0.06	7.75	5	7.63-7.88	0.10
500	-	-	-	-	8.37	5	8.32-8.42	0.04	-	-	-	-
550	-	-	-	-	-	-	-	-	8.81	7	8.66-8.89	0.09
600	-	-	-	-	-	-	-	-	9.46	8	9.36-9.53	0.06
650	-	-	-	-	-	-	-	-	9.97	2	9.91-10.03	0.06
700	-	-	-	-	-	-	-	-	10.45	3	10.43-10.47	0.02
750	-	-	-	-	-	-	-	-	11.07	7	10.97-11.11	0.06
800	-	-	-	-	-	-	-	-	11.66	3	11.66-11.67	0.01
850	-	-	-	-	-	-	-	-	12.09	2	12.08-12.11	0.02

Measured temperatures at the Renström mine

Tabellvärden erhållna från D Malmqvist.

Finnsjön, Uppsala län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>200 m</u>	<u>300 m</u>
Fi 1	6,9	8,2	9,4
Fi 6	6,8	8,0	9,3
Fi 7	6,7	7,8	9,1
Medelvärde	6,8	8,0	9,3
Variationsområde	6,7-6,9	7,8-8,2	9,1-9,4

Från konceptkopior K-Å Magnusson, SGU.

Sternö, Blekinge län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>200 m</u>	<u>300 m</u>
Gradat N50E -80°	8,3	9,7	10,9

Från konceptkopior K-Å Magnusson, SGU.

Vassbotrakten, Kopparbergs län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>200 m</u>	<u>300 m</u>
Gullasjön bh 91	4,5	6,0	7,9

Från Gruvforskningen Serie B nr 206.

Skelleftefältet, Norrbotten län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>200 m</u>	<u>300 m</u>
(Långsele 511	5,9	6,7	7,5)
Nyholm 6 730627	4,1	5,0	6,1
Nyholm 7 730627	4,5	5,4	6,5
Strömfors 6	4,5	5,1	6,7
Boliden 678	4,4	5,5	6,5
Boliden 679	4,3	5,3	6,4
Långheden 4	4,1	4,9	6,1
Medelvärde	4,3	5,2	6,4
Variationsområde	4,1-4,4	4,9-5,5	6,1-6,7

medräknas ej

Aitik, Norrbottens län

<u>Borrhål nr</u>	<u>100 m</u>	<u>200 m</u>	<u>300 m</u>
224	3,2	3,9	5,1
251 701028	4,4	3,8	6,7
251 730704	2,9	5,1	6,7
250 701026	-	4,1	7,2
250 730705	3,2	4,0	5,9
534B	3,3	4,3	5,2
545	3,8	4,5	5,6
535 701023	5,8	7,0	8,4
535 730711	3,5	4,9	6,4
523	3,9	5,2	7,0
Medelvärde	3,8	4,7	6,4
Variationsområde	2,9-5,8	3,9-7,0	5,1-8,4

Mätningarna vid Aitik skiljer sig från övriga mätningar genom temperaturvariationer på över 1° mellan olika årstider till över 500 m djup i ett borrhål. Temperaturvariationerna förklaras i texten genom vattentransport i borrhål till sprickzoner på stort djup.

Från Geophys J R astr Soc (1975) 43 531-534.

D S Parasnis Temperature Phenomena and Heat Flow Estimates in Two Precambrian Ore-bearing Areas in North Sweden.

Geotermiska data från K G Eriksson och B Malmqvist 1979

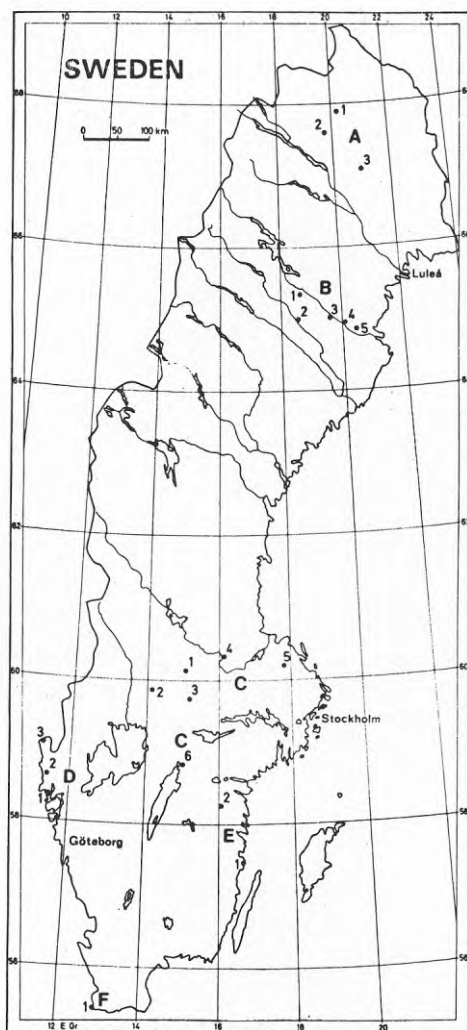


Fig. 3. Sites of temperature measurements.
A-F indicate different rock provinces

Områden där temperaturmätningar utförts. A-F markerar olika berggrundsområden.

Table 1. Geothermal data, estimated from results of determined temperatures and estimated or measured thermal conductivities in Swedish mining fields in north (A,B) and central (C) Sweden

Map No.	Location	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m a.s.l.)	Rock type	Deepest measured level (m)	Bottom temp. (°C)	Surface temp. (°C)	Temp. gradient (°C/km)	Heat flow (mWm ⁻²)	Thermal conductivity determined
A1	Kiruna	67°53'	20°16'	480-550	va,sa,o	980	13.1	-2.4	3.1	14.1(>500)	x
A2	"Lappmalmen"	67°36'	19°38'	520-545	vas,vac,o	205	4.3	-2.2	1.7	11.8(>100)	38-46
A3	Pattok	67°05'	20°59'	310-335	gn,gnsk,o	720	13.8	-0.9	2.0	18.7(>200)	42-47
B1	Adak	65°22'	18°38'	405	vaq,vas,gr	910	13.9	0.3	2.9	12.0(>300)	38-42
B2	Kristineberg	65°04'	18°33'	410	vaq,vas,o	690	9.9	0.6	3.1	10.2(>330)	30-38
B3	Norrleden	65°01'	19°36'	240	va,gs	600	9.1	1.3	3.2	12.0(>275)	36-44
B4	Renström	64°55'	20°06'	255	vas,o	850	12.1	1.3	3.1	11.2(>400)	38-41
B5	Strömsfors-	64°52'	20°27'	190-225	va,s	630	10.8	1.6	3.0	12.4(>300)	38-44
C1	Nyholm	60°07'	15°03'	165	va,p,o	850	20.1	4.4	4.5	19.1(>300)	59-63
C2	Wärtherget	59°50'	14°09'	260	va,c,sk,o	390	12.2	3.9	4.8	18.1(>150)	49-58
C3	Strässa	59°45'	15°12'	230	va,sk,gn	750	16.7	4.2	4.4	17.8(>250)	61-65
C4	Inträngnet	60°20'	16°09'	230	gr,di	770	15.1	3.8	5.0	13.4(>500)	40-47
C5	Dannemora	60°02'	17°51'	40	va,c,sk,o	560	15.2	5.5	6.6	14.1(>260)	58-62
C6	Zinkgruvan	58°48'	15°05'	180	va,sk,gn,o	700	16.7	5.2	6.0	16.5(>400)	52-61

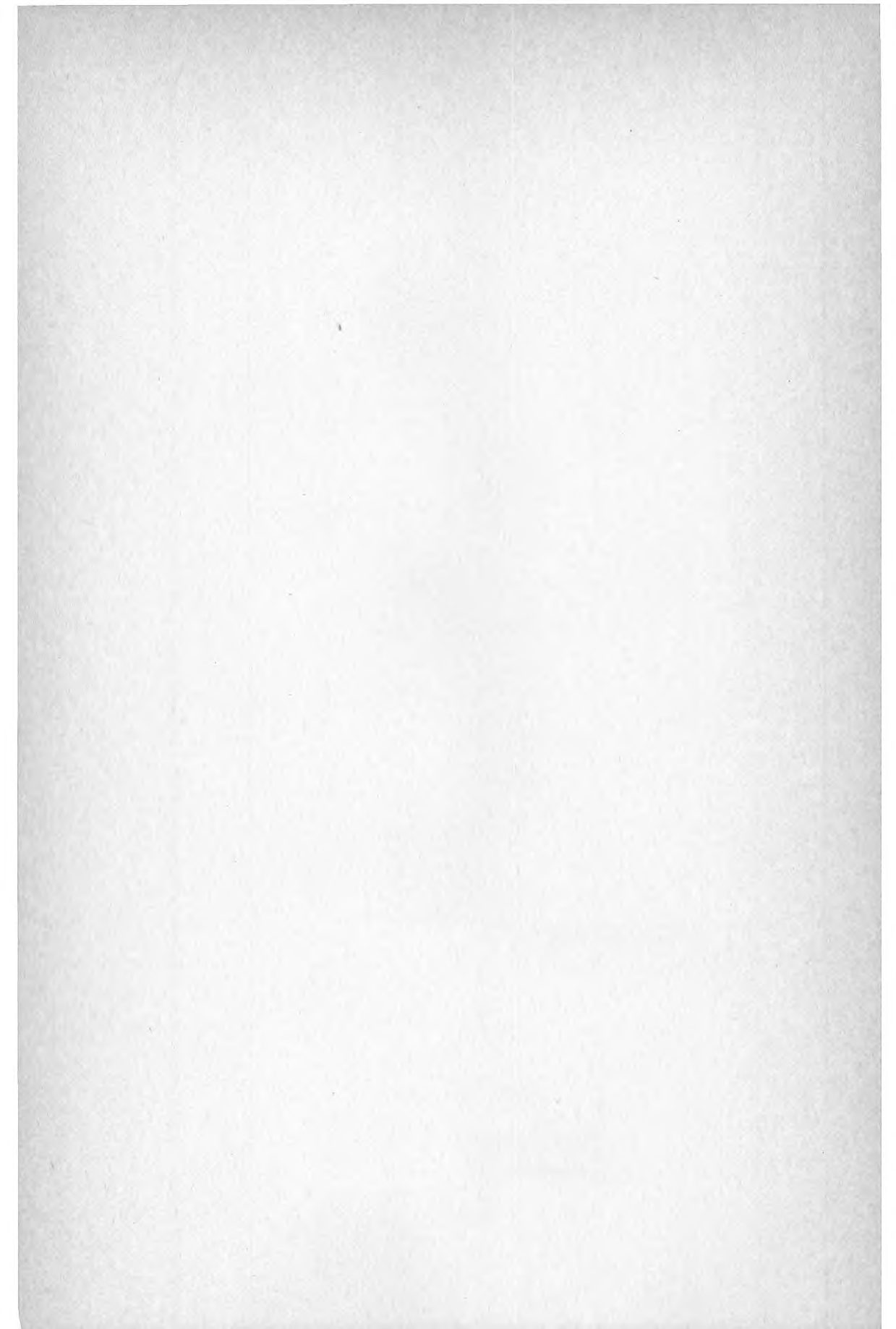
Rock types: gr, granite; p, pegmatite; di, diorite; gn, gneiss; gnsk, gneiss with skarn; va, volcanics, mostly of acidic type, in Sweden usually called leptites (definition see Henriques, 1964); vaq, quartzitic; vas, sericitic; gs, greenstone; sa, sandstone; s, shales and greywackes; c, carbonates (calcite or dolomite); sk, skarn; o, ore and ore aureole.

Table 2. Geothermal data, estimated from results of determined temperatures, and estimated or measured thermal conductivities in drillholes or mines in southwestern(D), southeastern (E), and south (F) Sweden

Map No.	Location	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m a.s.l.)	Rock type	Deepest measured level (m)	Bottom temp. (°C)	Surface temp. (°C)	Temp. gradient (°C/km)	Heat flow (mWm ⁻²)	Thermal conductivity determined
D1	Lyse ("Statkraft")	58°20'	11°26'	55	gr	100	9.2	6.4	7.8	14.0(>50)	49-54
D2	Fjällbacka	58°36'	11°19'	30	gr	70	8.5	6.5	6.9	23.2(>50)	81-90
D3	Lervik	59°04'	11°11'	90	gr	65	7.5	5.9	6.4	18.5(>50)	65-72
E1	Solstad	57°35'	16°34'	10	gr,qu,o	320	13.2	7.0 ^a (7.4) ^b	5.5	24.0(>30)	89-101
E2	Bersbo	58°16'	16°03'	105	va,o	385	11.1	5.8 ^a (6.1) ^b	4.0	19.4(>100)	58-68
F1	Ljunghusen 1	54°26'	12°55'	5	s	2300	81	7.9	11 ^c	35.0(>1000)	67-81

Rock types: gr, granite; gn, gneiss; va, volcanics of acidic type; qu, quartzite; s, Tertiary, Mesozoic, and Paleozoic sediments; o, ore and ore aureole.

^aMean annual temperatures in the period 1859-1925; ^bMean annual temperatures in the period 1931-1960; ^cUncertain value.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
791526-3 från Statens råd för byggnadsforskning
till Allmänna Ingenjörbyrån AB och AB Avanti-
Maskiner, Stockholm.**

R142: 1980

ISBN 91-540-3378-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700242

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms